

“静电场”高频考点归类剖析

■山东省淄博实验中学 梅砚君

“静电场”相关内容在历年高考试卷中多以选择题和计算题的形式呈现,其中选择题一般考查考生对电场“力”和“能”的性质的理解、分析和判断,以及静电现象、电容器、示波管等与科技相联系的实际问题;计算题可能以电场为背景考查动力学的典型模型,体现与牛顿运动定律、动量守恒定律及功能关系的综合应用,也可能与磁场知识相结合,考查电场加速(偏转)与磁场偏转的综合问题,注重数理结合思想的运用。下面归类剖析“静电场”相关内容选择题的高频考点,总结解题策略,希望能够帮助同学们理顺解题思路,提高复习效率。

考查方向一: 电场强度、电势、电势差等基本概念,突出考查对其物理意义、标量、矢量的理解

例 1 (2022 年全国乙卷)如图 1 所示,两对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ ($q > 0$) 固定于正方形的 4 个顶点上。 L 、 N 是该正方形两条对角线与其内切圆的交点, O 为内切圆的圆心, M 为切点。则()。

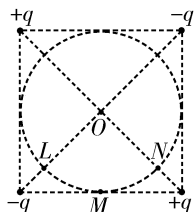


图 1

- A. L 和 N 两点处的电场方向相互垂直
- B. M 点的电场方向平行于该点处的切线,方向向左
- C. 将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点,静电力做正功
- D. 将一带正电的点电荷从 L 点移动到 N 点,静电力做功为零

解析:两个带正电的点电荷 $+q$ 在 N 点产生的场强方向由 N 点指向 O 点, N 点处于两带负电的点电荷 $-q$ 连线的中垂线上,则两带负电的点电荷 $-q$ 在 N 点产生的场强方向由 N 点指向 O 点,则 N 点的合场强方向由 N 点指向 O 点;两个带负电的点电荷 $-q$ 在 L 点产生的场强方向由 O 点指向 L 点, L 点处于两带正电的点电荷 $+q$ 连线的中垂线

上,两带正电的点电荷 $+q$ 在 L 点产生的场强方向由 O 点指向 L 点,则 L 点的合场强方向由 O 点指向 L 点。因为正方形两对角线垂直平分,所以 L 和 N 两点处的电场方向相互垂直,选项 A 正确。正方形下方的一对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ 在 M 点产生的场强方向水平向左,而正方形上方的一对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ 在 M 点产生的场强方向水平向右,因为 M 点到正方形上方一对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ 的距离较远,所以 M 点的电场方向水平向左,选项 B 正确。因为 M 点和 O 点位于两对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ 的等势面上,即 M 点和 O 点处的电势相等,所以将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点,静电力做功为零,选项 C 错误。因为 L 点的电势低于 N 点的电势,所以将一带正电的点电荷从 L 点移动到 N 点,静电力做负功,选项 D 错误。

答案: AB

考法提炼: 1. 本题考查点电荷产生的电场中场强大小、电势高低的判断,意在考查同学们利用电场线和等势面分析电场分布情况的能力。同学们需要熟悉常见电场的电场线分布图,根据等势面与电场线垂直,牢记等势面的分布图。如果题目给出的是一个同学们不熟悉的电场的电场线分布图,那么就要能够根据电场线的基本特点,即电场线的疏密表示电场的强弱,电场线上各点切线表示电场方向来判断电场的大致分布情况。若题目只给出了一条电场线,则无法判断电场线的疏密,即无法判断场强的大小;若题目给出的电场线的方向未知,则无法判断电势的高低。

2. 研究特殊带电体在某点产生的电场强度时,除需要充分利用题给信息外,有时还需要借助科学的思维方法,如等效法、对称法、割补法、微元法等。

3. 电场强度是矢量,叠加时应遵从平行四边形定则,分析电场叠加问题的一般步骤:(1)确定待分析电场的空间分布特点;(2)确

定待分析位置有几个分电场,并计算出各个分电场在该位置的电场强度的大小和方向;
(3)依次利用平行四边形定则求出各个分场强的矢量和。

考查方向二:与电场线、等势面结合起来考查对电场性质的理解

例 2 (2020 年高考全国 III 卷)如图 2 所示, $\angle M$ 是锐角三角形 PMN 中最大的内角,电荷量为 $q (q > 0)$ 的点电荷固定在 P 点。下列说法中正确的是()。

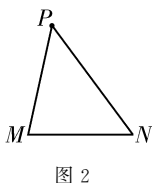


图 2

- A. 沿 MN 边,从 M 点到 N 点,电场强度的大小逐渐增大
- B. 沿 MN 边,从 M 点到 N 点,电势先增大后减小
- C. 正电荷在 M 点的电势能比其在 N 点的电势能大
- D. 将正电荷从 M 点移动到 N 点,静电力所做的总功为负

解析:画出固定在 P 点的点电荷周围的电场线及等势面的分布图,如图 3 所示。因为 MN 边上到 P 点最近的点的电场强度最大,所以从 M 点到 N 点电场强度先增大后减小,选项 A 错误。因为 MN 边上到 P 点最近的点的电势最高,所以从 M 点到 N 点电势先增大后减小,选项 B 正确。 M 、 N 两点的电势高低关系为 $\varphi_M > \varphi_N$,根据电势能的表达式 $E_p = q\varphi$ 可知,正电荷在 M 点的电势能大于在 N 点的电势能,选项 C 正确。将正电荷从 M 点移动到 N 点,电势能减小,静电力所做的总功为正,选项 D 错误。

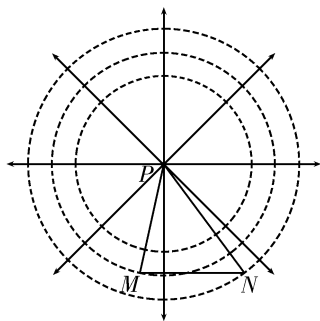


图 3

答案:BC

考法提炼:1. 本题考查的是最简单的点电荷形成的电场,但是题给了一个锐角三角形,导致很多同学看到题目会有些发懵。应对策略就是从点电荷形成的电场出发,画出电场线和等势面的分布图,只要能比较出 M 点和 N 点到 P 点的距离远近就可以比较场强的大小和电势的高低了。高中阶段常见的电场无外乎点电荷的电场、等量同种(异种)电荷的电场、匀强电场等。只要明确了是哪种电场,就可以积极地利用电场线和等势面来分析问题。静电力做功对应电势能的变化,利用静电力做功的正负来判断电势能的增减是最常用的方法。根据推论“正电荷在电势越高处电势能越大,负电荷在电势越高处电势能越小”可以判断电势的高低。

2. 根据电场线分析相关问题的要点包括:(1)静电力沿电场线指向带电粒子运动轨迹的凹侧。(2)根据静电力方向和粒子所带电荷的正负可以判断电场强度的方向。(3)若静电力与带电粒子的速度方向成锐角,则速度越来越大;若静电力与带电粒子的速度方向成钝角,则速度越来越小。(4)电场线的疏密表示场强的大小,场强越大,带电粒子受到的静电力越大,加速度越大。

考查方向三:匀强电场的电场强度和电势的计算

例 3 空间存在平行于纸面的匀强电场,但电场的具体方向未知,现在纸面内建立直角坐标系 xOy ,用仪器沿 Ox 、 Oy 两个方向探测该电场中各点的电势,得到各点电势 φ 与 x 、 y 轴坐标的函数关系如图 4 甲、乙所示。关于该电场的电场强度 E ,下列说法中正确的是()。

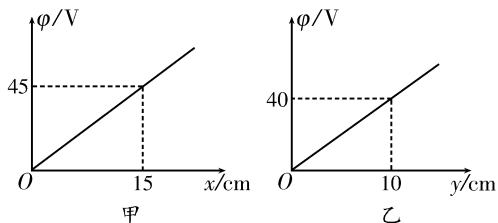


图 4

- A. $E=3\text{ V/m}$, 方向沿 x 轴正方向
- B. $E=5\text{ V/m}$, 方向指向第一象限
- C. $E=400\text{ V/m}$, 方向沿 y 轴负方向
- D. $E=500\text{ V/m}$, 方向指向第三象限

解析: 沿 x 轴方向的电场强度分量 $E_x = -\frac{45}{0.15}\text{ V/m} = -300\text{ V/m}$, 沿 y 轴方向的电

场强度分量 $E_y = -\frac{40}{0.1}\text{ V/m} = -400\text{ V/m}$,

因此该电场的电场强度大小 $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 500\text{ V/m}$, 方向与 x 轴负方向成 53° 角, 指向第三象限。

答案: D

考法提炼: 计算匀强电场的电场强度, 通常需要用到电场强度与电势差的关系, 常规方法是先找出等势面, 再根据垂直关系作出电场线, 利用 $E = \frac{U}{d}$ 进行计算。如果几何关系不是很好找, 那么利用题目给出的条件将电场强度正交分解, 分别求出电场强度的两个分量, 再利用平行四边形定则求出合场强, 往往比较简便。

考查方向四: 结合带电粒子的运动轨迹比较电势和电势能

例 4 某静电场的电场线分布情况如图 5 中实线所示, 电场的方向不确定, 一带电粒子在电场中仅受静电力作用, 其运动轨迹如虚线所示。当粒子由 M 点运动到 N 点时, 以下说法中正确的是()。

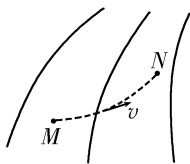


图 5

- A. 粒子带正电荷
- B. 粒子在 M 点的电势能大于它在 N 点的电势能
- C. 该电场是由孤立正电荷产生的
- D. 粒子在 M 点的电势高于它在 N 点的电势

解析: 电场的方向不确定, 虽然根据粒子的运动轨迹可以判断受力方向, 但是不能确定粒子的电性, 选项 A 错误。根据粒子运动轨迹的弯曲情况可以判断出粒子所受静电力与速度方向间的夹角为锐角, 静电力做正功,

电势能减小, 即粒子在 M 点的电势能大于它在 N 点的电势能, 选项 B 正确。根据电场线的分布情况可以看出, 该电场不是由孤立电荷产生的, 选项 C 错误。粒子的电性不明, 因此无法判断 M 点和 N 点电势的高低, 选项 D 错误。

答案: B

考法提炼: 带电粒子的运动轨迹为曲线, 则其受力方向一定指向曲线的凹侧, 这是分析带电粒子在电场中受力的突破口。电场方向、粒子电性、静电力方向这三个条件, 已知其中两个才能判断第三个, 已知其中一个则无法判断另外两个。场强大小和电势高低由电场本身决定, 无论粒子运动方向是从 M 点向 N 点还是从 N 点向 M 点, 都不会影响电场线的分布情况。若不知道粒子的运动方向, 则可以借助假设法进行分析判断。带电粒子的运动轨迹与电场线只有满足一定条件才会重合, 即电场线为直线, 粒子只受静电力, 粒子的初速度为零或者与电场线共线, 除此之外的其他情况下粒子的运动轨迹与电场线都不会重合。

考查方向五: 结合 $E-x$ 图像、 $\varphi-x$ 图像、 E_p-x 图像等考查对电场性质的理解

例 5 如图 6 所示, 在 x 轴上放有两个电荷量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷, 其中点电荷 q_1 位于坐标原点 O , 点电荷 q_2 的右侧各点电势 φ 随 x 变化的关系如图中曲线所示, 其余部分的电势变化情况没有画出, 其中 B 点电势为零, BD 段中的电势最低点为 C 点, 下列说法中正确的是()。

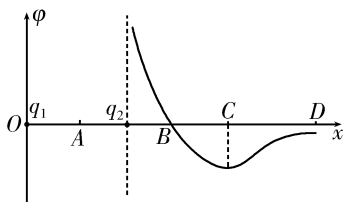


图 6

- A. A 点的电场强度方向向左
- B. 从 B 点到 D 点, 电场强度先增大后减小
- C. 两点电荷所带电荷量的大小关系为 $q_1 > q_2$

D. 将一带负电的试探电荷从 C 点移动到 D 点, 静电力做负功

解析: 因为 C 点的切线斜率等于零, 即 C 点的电场强度等于零, 所以两个点电荷在 C 点产生的电场的电场强度等大, 反向, 说明两个点电荷带异种电荷。根据点电荷产生电场的电场强度公式 $E = \frac{kq}{r^2}$ 可知, 点电荷 q_1 离 C 点较远, 则电荷量 $q_1 > q_2$, 选项 C 正确。因为 q_1 和 q_2 是异种电荷, 且点电荷 q_2 附近的电势为正, 所以 q_2 为正电荷, q_1 为负电荷, 两个点电荷在 A 点产生电场的电场强度都水平向左, 即 A 点的电场强度水平向左, 选项 A 正确。因为 C 点的电场强度等于零, 所以从 B 点到 D 点, 电场强度先减小后增大, 选项 B 错误。从 C 点到 D 点, 电势逐渐升高, 根据电势能的表达式 $E_p = q\varphi$ 可知, 将一带负电的试探电荷从 C 点移动到 D 点, 电势能逐渐减小, 静电力做正功, 选项 D 错误。

答案: AC

考法提炼: 遇到图像需要先明确其物理意义, $E-x$ 图像描述电场强度随位置的变化规律, 根据各点电场强度的变化可以判断电场线的方向, 根据图像和 x 轴所围的面积表示两点间的电势差可以判断电势的升降; $\varphi-x$ 图像描述电势随位置的变化规律, 根据各点电势的变化可以判断电势的升降, 根据各点切线斜率表示电场强度可以判断电场强度的大小; E_p-x 图像描述电势能随位置的变化规律, 根据各点电势能的变化可以判断静电力做功, 根据各点切线斜率表示带电粒子受到的静电力可以判断静电力的变化。

跟踪训练

1. 如图 7 所示, A、B、C、D 是正四面体的四个顶点, 在 B、D 两点分别固定等量异种点电荷。下列说法中正确的是()。

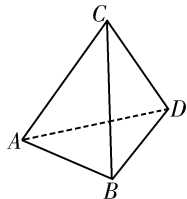


图 7

- A. A 点电势比 C 点电势高
- B. A、C 两点的场强等大反向

C. 将一带负电的试探电荷从 A 点沿直线移动到 C 点, 静电力不做功

D. 将一带负电的试探电荷从 A 点沿直线移动到 C 点, 静电力先变小后变大

2. 如图 8 所示, 虚线 a、b、c 为电场中相邻的三条等差等势线, 质子仅在静电力作用下从 A 点沿实线经 B 点运动到 C 点, A、B、C 三点的场强大小分别为 E_A 、 E_B 、 E_C ,

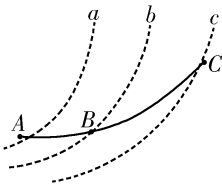


图 8

电势分别为 φ_A 、 φ_B 、 φ_C , 质子在 A、B、C 三点的电势能分别为 E_{pA} 、 E_{pB} 、 E_{pC} , 动能分别为 E_{kA} 、 E_{kB} 、 E_{kC} , 则()。

- A. $E_A > E_B > E_C$
- B. $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$
- C. $E_{pA} > E_{pB} > E_{pC}$
- D. $E_{kA} > E_{kB} > E_{kC}$

3. 如图 9 所示, 竖直平面内一绝缘细圆环的上、下半圆分别均匀分布着等量异种电荷。a、b 为圆环水平直径上的两个点, c、d 为圆环竖直直径上的两个点, 它们到圆心的距离均相等。则()。

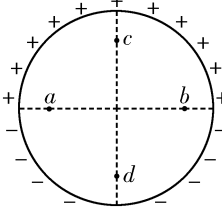


图 9

- A. a、b 两点的场强相等
- B. 将一带正电的试探电荷沿水平直径从 a 点移动到 b 点, 静电力先做正功后做负功
- C. c 点场强比 d 点场强大
- D. 将一带正电的试探电荷从 c 点移动到 d 点, 静电力做正功

4. 如图 10 甲所示是某电场中的一条方向未知的电场线, 从 P 点由静止开始先后释放 a、b 两个比荷大小相同的粒子, 仅在静电力作用下, a 粒子沿电场线向左运动, b 粒子沿电场线向右运动, 从释放时刻开始计时, 两粒子的速率随时间变化的图像如图 10 乙中实线所示(虚线为直线), 则()。

- A. a 粒子一定带正电, b 粒子一定带负电
- B. a、b 两粒子的电势能都减少
- C. P 点左侧的电场强度比 P 点右侧的大
- D. P 点左侧的电势比 P 点右侧的高

复合场问题中的两个拓展运动模型剖析

■山东省齐河县第一中学 冯宗国

复合场问题中的螺旋线运动模型与摆线运动模型在近几年的高考试题中均有所考查,下面通过模型的讲解、典型例题的剖析、同类型试题的训练等三个环节对螺旋线运动、摆线运动这两个复合场中带电粒子的运动模型进行系统梳理,以期对同学们的复习备考有所帮助。

一、螺旋线运动模型

1. 模型讲解。

情景 1:如图 1 所示,带正电粒子的初速度大小为 v_0 ,方向与匀强磁场方向间的夹角为 θ 。

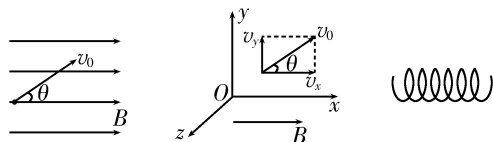


图 1

图 2

图 3

分析:以磁场的方向为 x 轴正方向建立如图 2 所示的三维直角坐标系,可以将初速度 v_0 分解为 $v_x = v_0 \cos \theta$, $v_y = v_0 \sin \theta$ 。粒子因有分速度 v_y 而受到 yOz 平面内的洛伦兹力,在 x 轴方向上不受力。粒子在 x 轴方向上以速度 v_x 做匀速直线运动,在 yOz 平面内以速度 v_y 做匀速圆周运动,这两个分运动是相互垂直

的,其合运动的轨迹类似于弹簧(如图 3 所示),这种运动称为等距螺旋线运动。

拓展 1:如图 4 所示,在上述模型中加入与匀强磁场同向的匀强电场,则粒子在 x 轴方向上不受洛伦兹力,只受静电力。粒子在 x 轴方向上做初速度为 v_x ,加

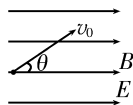


图 4

速度为 $\frac{qE}{m}$ 的匀加速直线运动;在 yOz 平面内仍做匀速圆周运动。其合运动的轨迹为不等距螺旋线。

2. 典型例题剖析。

例 1 如图 5 所示,在三维直角坐标系中,沿 z 轴正方向有磁感应强度为 B 的匀强磁场,沿 z 轴负方向有电场强度为 E 的匀强电场。在原点 O 有一质量为 m ,电荷量为

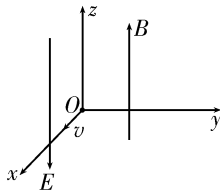


图 5

$-q$ 的粒子(不计粒子自身重力)以沿 x 轴正方向,大小为 v 的初速度发射。试求粒子在 $t = \frac{2\pi m}{3qB}$ 时刻的位置坐标。

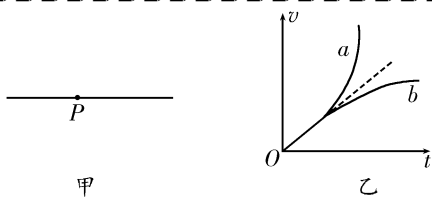


图 10

5. 某空间区域的竖直平面内存在电场,其中一条竖直的电场线如图 11 甲中虚线所示。一个质量为 m ,带电荷量为 $+q$ 的小球,从 O 点由静止开始沿电场线竖直向下运动。以 O 为坐标原点,取竖直向下为 x 轴的正方向,小球的机械能 E 与位移 x 的关系如图 11 乙所示,不计空气阻力。则()。

- A. 电场强度大小恒定,方向沿 x 轴负方向
- B. 从 O 点到位移为 x_1 的位置的过程中,

小球的速率越来越大,加速度越来越小

C. 从 O 点到位移为 x_1 的位置的过程中,相等的位移内,小球克服静电力做的功相等

D. 小球到达位移为 x_1 的位置时的速率为 $\sqrt{\frac{2(E_1 - E_0 + mgx_1)}{m}}$

参考答案: 1. C 2. AD 3. AD 4. BC

5. D (责任编辑 张巧)

解析:粒子在 z 轴方向上做初速度为零, 加速度为 $\frac{qE}{m}$ 的匀加速直线运动; 在 xOy 平面内做匀速圆周运动。其合运动的轨迹为不等距螺旋线。根据 $z = \frac{1}{2}at^2$, $a = \frac{qE}{m}$, $t =$

$\frac{2\pi m}{3qB}$, 解得 $z = \frac{2\pi^2 mE}{9qB^2}$ 。粒子在 xOy 平面内

做匀速圆周运动, 其运动轨迹(俯视图)如图 6 所示。根据粒子做圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 易

知粒子在 $0 \sim \frac{2\pi m}{3qB}$ 时间内

的运动轨迹所对的圆心角为 $\frac{2\pi}{3}$ 。根据洛伦兹力提供向心力得 $qvB =$

$m \frac{v^2}{R}$, 结合图示得粒子在 $t = \frac{2\pi m}{3qB}$ 时刻的位

置坐标为 $x = \frac{\sqrt{3}mv}{2qB}$, $y = \frac{3mv}{2qB}$ 。

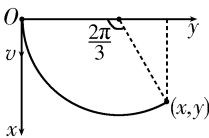


图 6

3. 训练提升。

练习 1:如图 7 所示, M 为竖直放置的金属板, N 为记录板, 分界面 P 将 M 、 N 两板间的区域分为宽度均为 d 的 I、II 两部分, M 、 N 、 P 所在平面相互平行, a 为 M 板上的小孔。区域 I、II 内分别充满平行于 M 板水平向里的匀强磁场 B 和匀强电场 E 。一质量为 m , 电荷量为 $+q$ 的粒子, 从 a 孔以初速度 v_0 进入磁场, 过分界面 P 上的 b 点(图中未画出)进入电场, 最终打到记录板 N 上。不计粒子自身重力。以初速度 v_0 所在直线为 z 轴, 取向右为正方向, 取 z 轴与记录板 N 的交点 O 为坐标原点, 以平行于记录板 N 水平向里为 x 轴正方向, 以竖直向上为 y 轴正方向, 建立三维直角坐标系。求:

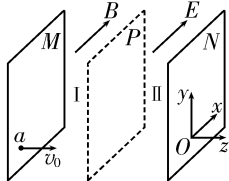


图 7

(1) b 点到 z 轴的距离 L 。

(2) 粒子打到记录板 N 上时的 x 轴坐标。

提示:(1)粒子在区域 I 内做匀速圆周运动, 根据洛伦兹力提供向心力得 $qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$, 解得 $R = \frac{mv_0}{qB}$ 。根据几何关系得 $L =$

$R - \sqrt{R^2 - d^2}$, 解得 $L = \frac{mv_0}{qB} - \sqrt{\frac{m^2 v_0^2}{q^2 B^2} - d^2}$ 。

(2)设粒子在区域 I 内的运动轨迹所对的圆心角为 α , 根据几何关系得 $\cos \alpha = \frac{\sqrt{R^2 - d^2}}{R}$ 。粒子从 b 点进入区域 II, 在 yOz

平面内做匀速直线运动, 在 xOy 平面内做匀加速直线运动。在 z 轴方向上满足 $v_z = v_0 \cos \alpha$, $d = v_z t$; 在 x 轴方向上满足 $qE =$

ma , $x = \frac{1}{2}at^2$ 。联立以上各式解得 $x =$

二、摆线运动模型

1. 模型讲解。

情景 2:如图 8 所示, 在竖直向下的匀强电场与垂直于纸面向里的匀强磁场的复合场中, 带正电的粒子具有水平初速度 v_0 , 已知电场强度为 E , 磁感应强度为 B , 且 $v_0 > \frac{E}{B}$ 。



图 8

图 9

分析:如图 9 所示, 粒子的初速度可分解为 $v_1 = \frac{E}{B}$, $v_2 = v_0 - \frac{E}{B}$, 这两个分速度对应两个洛伦兹力。因为 $qv_1B = qE$, 所以粒子的两个分运动分别为速度为 v_1 的匀速直线运动和速度为 v_2 的匀速圆周运动。这两个分运动是共面的, 其合运动的轨迹如图 10 所示, 这种运动称为摆线运动。



图 10

拓展 2:若将上述模型中的带电粒子由

静止释放,则可将初速度($v_0=0$)分解为 $v_1 = \frac{E}{B}$ 与 $v_2 = -\frac{E}{B}$,即粒子一边做匀速直线运动,一边在释放点以下沿逆时针方向做匀速圆周运动。

2. 典型例题剖析。

例 2 如图 11 所示, $\times \times \times \times B \times \times \times$ 在竖直平面内有垂直于该 $\times P \times v \times \times \times \times \times \times$ 平面(纸面)向里的匀强磁 $\times a \times \times \times \times \times \times \times b \times$ 场,磁感应强度为 B 。竖直 图 11

平面内的 a 、 b 两点在同一水平线上,相距为 L 。带电荷量 $q > 0$,质量为 m ,重力不可忽略的粒子 P ,以初速度 v 从 a 点对准 b 点射出。不计空气阻力,不考虑粒子 P 与地面接触的可能性,粒子 P 通过 b 点。

(1)求 L 的可能值,以及对应的粒子 P 从 a 点运动到 b 点所经过的时间 t 。

(2)对满足(1)问要求的 L 值,粒子 P 能否从 a 点由静止释放后也可以通过 b 点?若能,求粒子 P 在运动过程中可以达到的最大速率 v_{\max} 。

解析:(1)若粒子 P 做匀速直线运动,则粒子 P 受力平衡,即 $qv_1B = mg$,解得粒子 P 的速度 $v_1 = \frac{mg}{qB}$ 。当 $v = v_1$ 时, L 为任意值,

$t = \frac{L}{v_1} = \frac{qBL}{mg}$ 。当 $v \neq v_1$ 时,粒子做摆线运动。每经过一个圆周运动的周期,粒子就回到初始高度。粒子 P 从 a 点运动到 b 点所经过的时间 $t = n \frac{2\pi m}{qB}$ ($n=1,2,3,\dots$)。因为粒子 P 完成一个完整的圆周运动不会产生位移,所以 $L = v_1 t = \frac{2n\pi m^2 g}{q^2 B^2}$ ($n=1,2,3,\dots$)。

(2)将粒子 P 从 a 点由静止释放属于 $v \neq v_1$ 的情况,显然它可以通过 b 点。粒子 P 在 a 点以下做圆周运动初始时刻的速度 $v_2 = -\frac{mg}{qB}$ 。当粒子 P 两个分运动的速度同向时,合速度最大,最大速率 $v_{\max} = v_1 + |v_2| = \frac{2mg}{qB}$ 。

3. 训练提升。

练习 2:如图 12 所示,空间存在一复合

场,匀强电场竖直向下,匀强磁场垂直于纸面向里, x 轴正方向水平向右。一质量为 m ,带电荷量为 $+q$ 的小球以大小不同的初速度

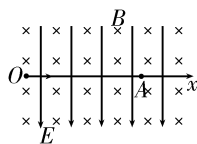


图 12

从 O 点沿 x 轴正方向射出。已知电场强度为 E ,磁感应强度为 B ,重力加速度为 g 。

(1)若小球做直线运动到达 A 点,求初速度的大小 v_0 。

(2)若小球由静止释放,则它会做曲线运动通过 A 点,求 A 点的横坐标和小球离开 x 轴的最大距离。

提示:(1)若小球做直线运动,则小球受力平衡,即 $qv_0B = mg + qE$,解得 $v_0 = \frac{qE + mg}{qB}$ 。

(2)将小球由静止释放,小球的曲线运动可视为速度为 v_0 的匀速直线运动和速度为 v_0 的匀速圆周运动的合运动,即摆线运动。

根据 $qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$, $T = \frac{2\pi R}{v_0}$,解得小球做圆周运动的半径 $R = \frac{m(qE + mg)}{q^2 B^2}$,周期 $T =$

$\frac{2\pi m}{qB}$ 。要使小球通过 A 点,则需满足 $x_A = v_0 t$, $t = nT$ ($n=1,2,3,\dots$),解得 $x_A = \frac{2n\pi m(qE + mg)}{q^2 B^2}$ ($n=1,2,3,\dots$)。根据几何关系可知,小球离开 x 轴的最大距离 $d = 2R = \frac{2m(qE + mg)}{q^2 B^2}$ 。

综上所述,螺旋线运动与摆线运动均是匀速圆周运动与直线运动的合运动。不同的是,螺旋线运动的两个分运动是相互垂直的,摆线运动的两个分运动是共面的。当带电粒子的初速度具有沿磁场方向(或反方向)的分量时,可以考虑是不是螺旋线运动。当带电粒子受到的洛伦兹力与静电力(或重力)不能抵消时,可以考虑是不是摆线运动。分析螺旋线运动和摆线运动这两个运动模型都体现了分解的思想。在处理螺旋线运动时,还采用了降维思想。在处理摆线运动时,引入了速度选择器的速度,还体现了补偿思想。

(责任编辑 张 巧)

电磁感应中的“知三求三”



■重庆市高新区教师进修学院

杨天才(特级教师,正高级教师)

恒力作用下的导体杆做切割磁感线运动,已知条件一般有:①基本属性:导体杆的质量 m ,电路中的总电阻 R ;②外部环境:匀强磁场的磁感应强度 B ;③几何长度:导体杆的有效切割长度 L ;④初始条件:导体杆的初速度为零;⑤隐含条件:导轨的电阻忽略不计,且足够长。待求的物理量一般有六个:①恒定外力 F ;②导体杆的速度 v ;③导体杆的运动时间 t ;④导体杆的位移 x ;⑤产生的焦耳热 Q ;⑥通过导体杆横截面的电荷量 q 。如果知道这六个物理量中的三个,那么就可以利用方程 $Ft + (-qBL) = mv$, $Fx + (-Q) = \frac{1}{2}mv^2$, $q = \frac{BLx}{R}$ 求剩下的三个。

说明:①若导体杆的初速度不为零,则同理可以“知三求三”;②若导体杆最终达到最大速度 v_{\max} ,增加一个方程 $F = \frac{B^2L^2v_{\max}}{R}$,则可以“知二求四”;③在没有外力作用的情形下,方程 $Ft + (-qBL) = mv$ 变为 $qBL = mv$,则不能求解时间 t ,而位移 x 、焦耳热 Q 、电荷量 q 仍可求。

例 1 如图 1 所示,在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,两根足够长的平行光滑金属轨道 MN 、 PQ 固定在水平面内,相距为 L 。一质量为 m 的导体棒 cd 垂直于轨道 MN 、 PQ 放置,与轨道接触良好。轨道和导体棒的电阻均不计。若轨道左端 M 、 P 间接一阻值为 R 的电阻,导体棒 cd 在拉力 F 的作用下由静止开始运动,经过时间 t ,导体棒 cd 的速度为 v 。求:

- (1)通过导体棒 cd 某一横截面的电荷量 q 。
- (2)时间 t 内导体棒 cd 的位移 x 。

(3)时间 t 内回路中产生的焦耳热 Q 。

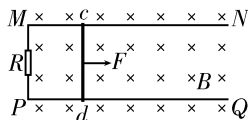


图 1

解析:(1)导体棒 cd 在拉力 F 和安培力的作用下做变加速直线运动,根据动量定理得 $Ft + (-\overline{F_{\text{安}}}t) = mv$,又有 $\overline{F_{\text{安}}}t = B\overline{I}Lt = qBL$,解得 $q = \frac{Ft - mv}{BL}$ 。

(2)根据 $q = \overline{I}t = \frac{BLv}{R}t = \frac{BLx}{R}$,解得 $x = \frac{(Ft - mv)R}{B^2L^2}$ 。

(3)根据动能定理得 $Fx + (-Q) = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $Q = \frac{FR(Ft - mv)}{B^2L^2} - \frac{1}{2}mv^2$ 。

点评:恒力作用下的导体杆切割磁感线运动模型,涉及的物理量多,已知条件也多,所要用到的物理规律涵盖高中物理的绝大多数,如力和运动的关系(受力分析、牛顿运动定律等),功和能的关系(动能定理、能量守恒定律等),冲量和动量的关系(动量定理、力的冲量等),电路(串并联电路规律、闭合电路欧姆定律等),电磁感应现象(法拉第电磁感应定律、楞次定律、右手定则、左手定则等),因而成为了高考考查的重点、难点和热点。本题已知恒定外力 F 、导体棒 cd 的运动时间 t 和速度 v ,属于“知三求三”的具体应用。

例 2 如图 2 所示,相距为 L 的两根足够长平行光滑金属导轨 MN 、 PQ 与水平面间的夹角为 θ ,导轨上端 N 、 Q 间接有阻值为 R 的电阻。整个装置处于磁感应强度为 B

的匀强磁场中,磁场方向垂直于导轨平面向下。将质量为 m 、阻值也为 R 的金属杆 cd 垂直放置在导轨上,由静止释放,下滑距离为 x 时达到最大速度。重力加速度为 g ,导轨电阻不计,金属杆 cd 与导轨始终接触良好。求:

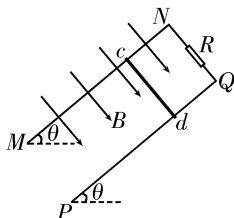


图 2

- (1) 金属杆 cd 下滑过程中的最大加速度 a_{\max} 。
- (2) 金属杆 cd 能够达到的最大速度 v_{\max} 。
- (3) 金属杆 cd 由静止运动至达到最大速度的过程中,金属杆 cd 中产生的焦耳热 Q 。
- (4) 金属杆 cd 由静止运动至达到最大速度的过程中,通过金属杆 cd 某一横截面的电荷量 q 。
- (5) 金属杆 cd 由静止运动至达到最大速度的过程所用的时间 t 。
- (6) 画出金属杆 cd 在下滑过程中的大致 $v-t$ 图像。

解析: (1) 设金属杆 cd 下滑到某位置时的速度为 v ,则金属杆 cd 切割磁感线产生的感应电动势 $E = BLv$,回路中的感应电流 $I = \frac{E}{R+R}$,金属杆 cd 受到的安培力 $F_{\text{安}} = BIL$,根据牛顿第二定律得 $mg \sin \theta - F_{\text{安}} = ma$,即 $mg \sin \theta - \frac{B^2 L^2 v}{2R} = ma$ 。当 $v=0$ 时,金属杆 cd 的加速度最大,最大加速度 $a_{\max} = g \sin \theta$,方向沿导轨所在平面向下。

(2) 当金属杆 cd 的加速度 $a=0$ 时,速度最大,最大速度 $v_{\max} = \frac{2mgR \sin \theta}{B^2 L^2}$,方向沿导轨所在平面向下。

(3) 根据能量守恒定律得 $mgx \sin \theta = Q_{\text{总}} + \frac{1}{2} m v_{\max}^2$,又有 $Q = \frac{1}{2} Q_{\text{总}}$,解得 $Q =$

$$\frac{1}{2} mgx \sin \theta - \frac{m^3 g^2 R^2 \sin^2 \theta}{B^4 L^4}。$$

(4) 通过金属杆 cd 某一横截面的电荷量

$$q = \bar{I}t = \frac{\bar{E}}{2R}t = \frac{\Delta\Phi}{2R} = \frac{BLx}{2R}。$$

(5) 根据动量定理得 $mgt \sin \theta - qBL = mv_{\max}$,解得 $t = \frac{2mR}{B^2 L^2} + \frac{B^2 L^2 x}{2mgR \sin \theta}$ 。

(6) 由(1)问的分析可知,金属杆 cd 在下滑过程中的大致 $v-t$ 图像如图 3 所示。

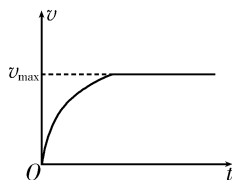


图 3

点评:本题已知恒定外力 $mg \sin \theta$ 和金属杆 cd 沿导轨下滑的位移 x ,还已知下滑过程中金属杆 cd 最终达到最大速度,属于“知二求四”的具体应用。

跟踪训练

如图 4 所示,相距为 L 的两根平行光滑金属导轨固定在水平面内,导轨左端接有阻值为 R 的电阻,磁感应强度为 B 的匀强磁场竖直向下分布在导轨所在空间内,质量为 m 的金属棒 PQ 垂直于导轨放置。现使金属棒 PQ 以一定的初速度 v_0 向右运动,当其到达虚线 c 所在位置时停止运动,设导轨与金属棒 PQ 的电阻均不计,求:

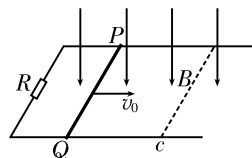


图 4

- (1) 通过金属棒 PQ 某一横截面的电荷量 q 。
- (2) 金属棒 PQ 运动的距离 x 。
- (3) 电路中产生的焦耳热 Q 。

参考答案: (1) $q = \frac{mv_0}{BL}$; (2) $x = \frac{mRv_0}{B^2 L^2}$;

(3) $Q = \frac{1}{2} m v_0^2$ 。 (责任编辑 张 巧)

伏安法测电阻的实验方法探究

山东省泰安第十九中学 张岩松 徐文广

伏安法测电阻是先使用电流表和电压表直接测量通过电阻的电流和电阻两端的电压,再利用欧姆定律求出电阻的方法。伏安法测电阻实验的第一个难点是器材的选取,包括电源、电表、滑动变阻器等的选择;第二个难点是确定电流表的连接方式,即是采用内接法还是采用外接法;第三个难点是确定滑动变阻器的连接方式,即是采用限流式接法还是采用分压式接法。下面就来探究这些难点的处理方法,以供同学们参考。

一、电流表内接法和外接法的判断方法

1. 电流表内接法和外接法的判断方法是“大内小外”。

当待测电阻的阻值比较大,满足 $R_x > \sqrt{R_A R_V}$ 时,电流表应采用内接法,可简便记为“大内”;当待测电阻的阻值比较小,满足 $R_x < \sqrt{R_A R_V}$ 时,电流表应采用外接法,可简便记为“小外”。

2. 误差分析。

电流表内接时,因为存在电流表的分压作用,造成电压表的测量值比真实值大,所以测得的电阻值比真实值要大,可简便记为“大内大”;电流表外接时,因为存在电压表的分流作用,造成电流表的测量值比真实值大,所以测得的电阻值比真实值要小,可简便记为“小外小”。

二、滑动变阻器限流式接法和分压式接法的判断方法

高中阶段电学中涉及用伏安法测电阻的实验有两个,一个是测定金属丝的电阻率,另一个是测绘小灯泡的伏安特性曲线。

在“测定金属丝的电阻率”实验中,因为待测金属丝的电阻率很小,所以金属丝的电阻比较小,满足 $R_x < \sqrt{R_A R_V}$,通常采用电流表外接法。为了减小偶然误差,一般要求测出多组 U 和 I 的数据,因此应在电路中接入

滑动变阻器。而滑动变阻器的最大阻值通常是金属丝电阻的 2~5 倍,相对而言,滑动变阻器的最大阻值比较大,采用限流式接法既能限得住电流,又比采用分压式接法节省能量,因此该实验中的滑动变阻器一般采用限流式接法。滑动变阻器限流式接法的实验电路如图 1 所示。

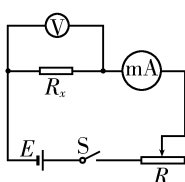


图 1

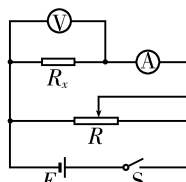


图 2

在“测绘小灯泡的伏安特性曲线”实验中,要求作出一条完整的伏安特性曲线,电压必须从零开始逐渐增加到额定电压,若滑动变阻器采用限流式接法则不能使小灯泡两端的电压减小到零,因此只能采用分压式接法。滑动变阻器分压式接法的实验电路如图 2 所示。

三、伏安法测电阻实验的典型例题剖析

1. 实验器材和电路图的选择方法探究。

例 1 一电阻的阻值在 $40 \Omega \sim 50 \Omega$ 之间,需要精确测定其阻值,现有的实验器材如表 1 所示。

表 1

器材(代号)	规格
电池组(E)	电动势为 9 V,内阻约为 0.5Ω
电压表(V)	量程为 $0 \sim 10$ V,内阻为 $20 \text{ k}\Omega$
电流表(A_1)	量程为 $0 \sim 50$ mA,内阻约为 20Ω
电流表(A_2)	量程为 $0 \sim 300$ mA,内阻约为 4Ω
滑动变阻器(R_1)	阻值范围为 $0 \sim 100 \Omega$,额定电流为 1 A
滑动变阻器(R_2)	阻值范围为 $0 \sim 1\,700 \Omega$,额定电流为 0.3 A
开关(S)、导线若干	

有两种可供选用的电路,如图 3 甲、乙所示,实验要求多测几组电流值、电压值,以便画出电流—电压关系图像。为了实验能够正常进行并尽量减小测量误差,而且要求滑动变阻器便于调节,实验中应选图 3 中____(选填“甲”或“乙”)所示的电路,应选代号是____的电流表和代号是____的滑动变阻器。

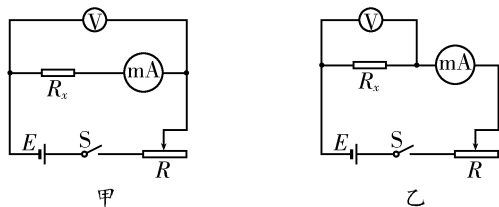


图 3

解析: 电流表的选择。设电路中能够达到的最大电流为 I_{\max} , 此时滑动变阻器接入电路的阻值为零。使用电流表 A_1 时有 $I_{\max} = \frac{E}{R_x + R_{A1}} = \frac{9}{40 + 20} \text{ A} = 0.15 \text{ A} = 150 \text{ mA}$, 超过电流表 A_1 的量程; 使用电流表 A_2 时有 $I_{\max}' = \frac{E}{R_x + R_{A2}} = \frac{9}{40 + 4} \text{ A} = 0.20 \text{ A} = 200 \text{ mA}$, 未超过电流表 A_2 的量程。因此应选择代号是 A_2 的电流表。

测量电路的选择。因为 $\frac{R_V}{R_x} > \frac{R_x}{R_{A2}}$, 满足 $R_x < \sqrt{R_{A2} R_V}$, 所以应该采用电流表外接法, 即应选择图 3 中乙所示的电路。

滑动变阻器的选择。选择滑动变阻器 R_1 时, 电路中的最小电流约为 $I_{\min} = \frac{E}{R_x + R_{A2} + R_1} = \frac{9}{40 + 4 + 100} \text{ A} = 0.06 \text{ A}$, 则电路中的电流变化范围为 $0.06 \text{ A} \sim 0.20 \text{ A}$; 选择滑动变阻器 R_2 时, 电路中的最小电流约为 $I_{\min}' = \frac{E}{R_x + R_{A2} + R_2} = \frac{9}{40 + 4 + 1700} \text{ A} = 0.005 \text{ A}$, 则电路中的电流变化范围为 $0.005 \text{ A} \sim 0.20 \text{ A}$ 。因此使用滑动变阻器 R_1 时有较大的有效调节长度, 应选择代号是 R_1 的滑动变阻器。

答案: 乙 A_2 R_1

2. 测电压表内阻的实验方法探究。

例 2 某电压表的内阻在 $20 \text{ k}\Omega \sim$

$50 \text{ k}\Omega$ 之间, 现要精确测定其内阻, 实验室提供了下列器材: 待测电压表 V (量程为 $0 \sim 3 \text{ V}$)、电流表 A_1 (量程为 $0 \sim 200 \mu\text{A}$)、电流表 A_2 (量程为 $0 \sim 5 \text{ mA}$)、电流表 A_3 (量程为 $0 \sim 0.6 \text{ A}$)、滑动变阻器 R (最大阻值为 $1 \text{ k}\Omega$)、电源 E (电动势为 4 V , 内阻不计)、开关 S 和导线若干。

(1) 实验室提供的电流表中, 应选用____完成实验。

(2) 为了尽量减小测量误差, 并要求测多组数据, 试在如图 4 所示的方框中画出符合要求的实验电路图(其中电源、开关和其连线已画出)。

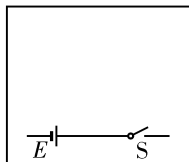


图 4

解析: (1) 实验要求测定的是电压表的内阻。测电阻需要用伏安法, 又因为电压表本身能够读电压, 所以只需一个电流表读电流即可。为了能够测出多组 U 和 I 的数据, 应在电路中接入滑动变阻器。因为电压表的内阻在 $20 \text{ k}\Omega \sim 50 \text{ k}\Omega$ 之间, 而滑动变阻器的最大阻值为 $1 \text{ k}\Omega$, 与待测电阻相比, 滑动变阻器的最大阻值太小, 若采用限流式接法则根本限不住电流, 所以滑动变阻器应该采用分压式接法。通过电压表的最大电流 $I_{\max} = \frac{E}{R_V} = \frac{4}{20 \times 10^3} \text{ A} = 2 \times 10^{-4} \text{ A} = 200 \mu\text{A}$, 均小于实验室提供的三个电流表的量程。为了减小实验误差, 应该使电流表的指针偏角尽可能大一些, 因此应选电流表 A_1 完成实验。

(2) 根据(1)问的分析可知, 符合要求的实验电路如图 5 所示。

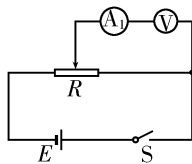


图 5

3. 滑动变阻器限流式接法和分压式接法探究。

注意: “测定金属丝的电阻率”实验中的滑动变阻器一般情况下采用限流式接法, 但并不是必须采用限流式接法, 需要具体问题

具体分析。

例 3 在“测定金属丝的电阻率”实验中,用伏安法测金属丝的电阻 R_x ,实验所用器材为:电池组 E (电动势为 3 V,内阻约为 1 Ω),电流表 A (内阻约为 0.1 Ω)、电压表 V (内阻约为 3 k Ω)、滑动变阻器 R (阻值范围为 0~20 Ω ,额定电流为 2 A)、开关 S 、导线若干。某小组同学利用以上器材正确连接好电路,进行实验测量,记录数据如表 2 所示。

表 2

次数	1	2	3	4	5	6	7
U/V	0.10	0.30	0.70	1.00	1.50	1.70	2.30
I/A	0.020	0.060	0.160	0.220	0.340	0.460	0.520

根据表格中实验数据可知,他们测量金属丝的电阻 R_x 采用的是图 6 中的____(选填“甲图”或“乙图”)。

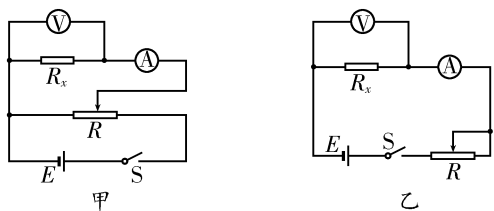


图 6

解析:本题若按照思维定式采用限流式接法,则会选择图 6 中的乙图。实际上,根据表格中的数据可以算出金属丝的电阻 R_x 大约是 5 Ω 。根据闭合电路欧姆定律可得,采用图 6 中的乙图实验时,电路中的最小电流
$$I_{\min} = \frac{E}{r + R_x + R} = \frac{3}{1 + 5 + 20} \text{ A} = 0.115 \text{ A},$$
不可能出现表格中的电流数据 0.020 A 和 0.060 A。要想得到表格中的所有数据一定采用的是图 6 中的甲图,即滑动变阻器采用分压式接法。

答案:甲图

4. 用电流表测量电压的实验方法探究。

例 4 从表 3 中选出适当的实验器材,设计一电路来测量电流表的内阻,要求测量方法简捷,有尽可能高的测量精度,并能测出多组数据。

表 3

器材(代号)	规格
电流表(A_1)	量程为 0~10 mA,内阻 r_1 待测(约为 40 Ω)
电流表(A_2)	量程为 0~500 μA ,内阻 $r_2 = 750 \Omega$
电压表(V)	量程为 0~10 V,内阻 $r_3 = 10 \text{ k}\Omega$
电阻(R_1)	阻值约为 100 Ω ,做保护电阻用
滑动变阻器(R_2)	总阻值约为 50 Ω
电源(E)	电动势为 1.5 V,内阻很小
开关(S)、导线若干	

(1)画出电路图,标明所用器材的代号。

(2)若选测量数据中的一组来计算 r_1 ,则所用的表达式为 $r_1 = \underline{\hspace{2cm}}$,式中各符号的意义是_____。

解析:(1)通过电流表 A_1 的电流 I_1 可以由电流表 A_1 读出,只要能测出电流表 A_1 两端的电压 U_1 ,则可利用公式 $r_1 = \frac{U_1}{I_1}$ 求出电流表 A_1 的内阻。因为电流表 A_1 的满偏电压约为 $U_g = I_g r_1 = 10 \times 10^{-3} \text{ A} \times 40 \Omega = 0.4 \text{ V}$,若用电压表 V 测量,则指针的偏转角度过小,测得的电压值误差太大,不符合题目中“有尽可能高的测量精度”的要求,所以不能使用题目中提供的电压表 V 直接测量电流表 A_1 两端的电压。可以将电流表 A_2 与 A_1 并联,把电流表 A_2 当成电压表使用。因为电流表 A_2 的内阻 r_2 已知,通过电流表 A_2 的电流 I_2 可以由电流表 A_2 读出,所以电流表 A_1 两端的电压 $U_1 = U_2 = I_2 r_2$ 。又有 $U_1 = I_1 r_1$,解得 $r_1 = \frac{I_2}{I_1} r_2$ 。实验电路采用如图 7 所示的两个图中的任何一个均可。

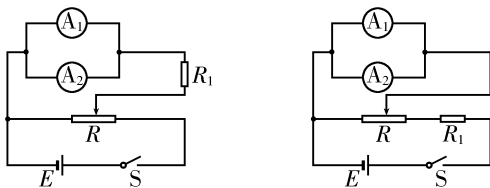


图 7



从知识立意转向能力立意，促进素养进阶提升

——2022 年高考全国甲卷物理试题评析



■ 云南省保山市第八中学 蒋金团

2022 年高考全国甲卷物理试题的计算量适中,设问方式新颖且灵活,符合当前物理学科核心素养的要求。在保持平稳过渡的前提下,2022 年高考全国甲卷物理试题具有其明显的特点,比如考查的方式和考查的角度更加新颖,体现了“一核四层四翼”的创新性;从知识立意转向能力立意的力度加大,强调了对关键能力的考查。

一、取材真实情景,注重理论与实际的联系

2022 年高考全国甲卷物理试题创设真实问题情景,引导学生关注身边的实际问题,从而培养学生的建模能力和社会责任感。例如,第 14 题以 2022 年北京冬奥会中运动员从大跳台滑下的过程为背景,考查机械能守恒定律和向心力相关知识,将学科知识和运动会紧密联系在一起,不但培养了学生对体

育运动的热爱之情,而且落实了“五育并举”的教育理念;再如,第 15 题以高速列车通过隧道为背景,考查匀变速直线运动的规律,引导学生关注生产生活,培养学生应用所学知识解决实际问题的能力。

例 1 (第 15 题)长度为 l 的高速列车在平直轨道上正常行驶,速率为 v_0 ,要通过前方一长度为 L 的隧道,当列车的任一部分处于隧道内时,列车速率都不允许超过 v ($v < v_0$)。已知列车加速和减速时加速度的大小分别为 a 和 $2a$,则列车从减速开始至回到正常行驶速率 v_0 所用时间至少为()。

- A. $\frac{v_0 - v}{2a} + \frac{L + l}{v}$
- B. $\frac{v_0 - v}{a} + \frac{L + 2l}{v}$
- C. $\frac{3(v_0 - v)}{2a} + \frac{L + l}{v}$

(2) 计算 r_1 所用的表达式为 $r_1 = \frac{I_2}{I_1} r_2$, 式中的 I_1 、 I_2 分别表示电流表 A_1 和 A_2 的示数, r_1 、 r_2 分别表示电流表 A_1 和 A_2 的内阻。

说明:电流表是由灵敏电流计和一个小电阻并联而成的,电流表的示数乘以其内阻就是电流表两端的电压,因此电流表也可以用来测电压。电压表是由灵敏电流计和一个大电阻串联而成的,电压表的示数除以其内阻就是通过电压表的电流,因此电压表也可以用来测电流。

综上所述,伏安法测电阻是非常重要的电学实验,它的实验原理是欧姆定律。纵观历年来的高考试卷可以发现,对这一实验的

考查主要有三个方面:一是实验器材的选择,包括电源、电流表、电压表、滑动电阻器等的选择,实验器材的选取要遵循安全性原则,要防止电学器件被烧毁;二是电流表连接方法的确定,包括电流表内接法和外接法,电流表的连接要遵循准确性原则,具体的判断方法是“大内小外”;三是滑动变阻器连接方法的确定,包括分压式接法和限流式接法,滑动变阻器的连接要遵循方便性原则,使滑动变阻器有较大的调节范围,若需要使得滑动变阻器分担的电压从零开始调节,或者需要多测几组数据,或者滑动变阻器的最大阻值比较小,则往往采用分压式接法。

(责任编辑 张 巧)

$$D. \frac{3(v_0 - v)}{a} + \frac{L + 2l}{v}$$

解析:当列车的任一部分处于隧道内时,列车速率都不允许超过 $v(v < v_0)$,则列车进隧道前必须减速到 v ,有 $v = v_0 - 2at_1$,解得 $t_1 = \frac{v_0 - v}{2a}$;列车在隧道内匀速运动时,有 $t_2 = \frac{L + l}{v}$;列车尾部出隧道后立即加速到 v_0 ,有 $v_0 = v + at_3$,解得 $t_3 = \frac{v_0 - v}{a}$ 。因此列车从减速开始至回到正常行驶速率 v_0 所用时间至少为 $t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{3(v_0 - v)}{2a} + \frac{L + l}{v}$ 。

答案:C

点评:本题属于运动学问题,将高速列车的运动过程可视化是解答本题的关键。题目要求列车通过隧道时的速率不超过 v ,又要求列车从减速开始至回到正常行驶速率 v_0 所用时间最短,说明列车通过隧道时的速度必然是 v ,因此列车的运动过程由进隧道前减速、隧道中匀速、出隧道后加速三部分组成。此外,列车的长度不能忽略,因此列车在隧道中行驶的过程指的是车头进入到车尾离开的过程,将上述分析以可视化的运动过程呈现出来,如图 1 所示,就可以找到解决问题的突破口。

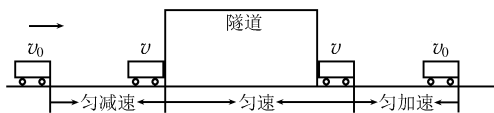


图 1

二、命题角度新颖,解答方法多样,注重思维能力的培养

与往年相比,2022 年高考全国甲卷物理试题在命题角度上更加新颖,设问方式更加灵活,解答方法也更加多样,有不少试题在传统题的基础上进行大胆的创新与突破,能够有效地考查学生的思维品质,考生可以根据自己的知识储备灵活选择答题方法。例如,第 16 题在考查法拉第电磁感应定律和电阻定律的同时,将正方形的内切圆、圆的内接多

边形等几何知识巧妙地融入进去,从而使得考题更具灵活性和区分度;再如,第 18 题以带电粒子在电、磁叠加场中的运动轨迹分析为背景,考查左手定则、洛伦兹力特点、静电力做功特点和动能定理等知识,考生既可以采用常规的排除法确定正确答案,也可以采用竞赛中常用的配速法确定正确答案;另外,第 34(1)题的解答也同样具有多样化特点,考生既可以采用常规的方程法计算机械波的波长,也可以采用单位圆法灵活巧妙地计算机械波的波长。

例 2 (第 16 题)三个用同样的细导线做成的刚性闭合线框,正方形线框的边长与圆形线框的直径相等,圆形线框的半径与正六边形线框的边长相等,如图 2 所示。把它们放入磁感应强度随时间线性变化的同一匀强磁场中,线框所在平面均与磁场方向垂直,正方形、圆形和正六边形线框中感应电流的大小分别为 I_1 、 I_2 和 I_3 。则()。

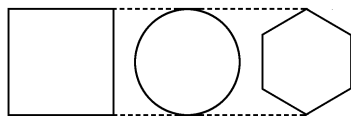


图 2

- A. $I_1 < I_3 < I_2$
- B. $I_1 > I_3 > I_2$
- C. $I_1 = I_2 > I_3$
- D. $I_1 = I_2 = I_3$

解析:设圆形线框的半径为 r ,则正方形线框的边长为 $2r$,正六边形线框的边长为 r ,因此圆形线框的周长 $C_2 = 2\pi r$,面积 $S_2 = \pi r^2$;正方形线框的周长 $C_1 = 8r$,面积 $S_1 = 4r^2$;正六边形线框的周长 $C_3 = 6r$,面积 $S_3 = \frac{1}{2} \times r \times \frac{\sqrt{3}}{2} r \times 6 = \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2$ 。三个线框的材料粗细相同,根据电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S_{\text{横截面}}}$ 可知,三个线框的电阻之比 $R_1 : R_2 : R_3 = C_1 : C_2 : C_3 = 8 : 2\pi : 6$,根据法拉第电磁感应定律得 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t}$,根据欧姆定律得 $I = \frac{E}{R} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{S}{R}$,因此三个线框中感应电流的大小之

比 $I_1 : I_2 : I_3 = 2 : 2 : \sqrt{3}$, 即 $I_1 = I_2 > I_3$ 。

答案:C

点评:本题以电磁感应为背景,考查法拉第电磁感应定律、电阻定律和欧姆定律等知识的综合应用。根据法拉第电磁感应定律可知,每个线框产生的感应电动势与线框面积成正比,根据电阻定律可知,每个线框的电阻与其周长成正比,因此找出三个线框的几何长度关系是解答本题的关键。根据题图可知,正六边形实质上是圆的内接六边形,将正六边形的中心与六个顶点连接起来,正六边形由六个等边三角形组成,利用题给相等长度很快就能找出三个线框的面积关系和周长关系,从而顺利求解相关问题。

例 3 (第 18 题) 空间存在匀强磁场和匀强电场,磁场的方向垂直于纸面(xOy 平面)向里,电场的方向沿 y 轴正方向。一带正电的粒子在电场和磁场的作用下,从坐标原点 O 由静止开始运动。如图 3 所示四幅图中,可能正确描述该粒子运动轨迹的是()。

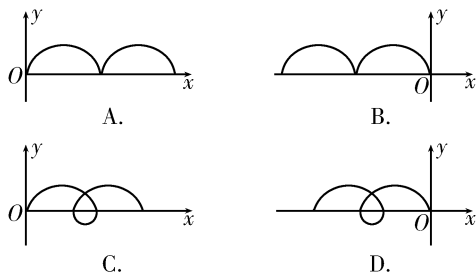


图 3

解析:在 xOy 平面内,电场的方向沿 y 轴正方向,故静止在坐标原点 O 的带正电粒子在静电力作用下会向 y 轴正方向运动;磁场方向垂直于纸面向里,根据左手定则可以判断出,向 y 轴正方向运动的粒子同时受到沿 x 轴负方向的洛伦兹力,故带电粒子向 x 轴负方向偏转。带电粒子在运动的过程中,静电力对粒子做功,粒子的速度大小发生变化,粒子所受的洛伦兹力方向始终与速度方向垂直。因为匀强电场方向沿 y 轴正方向,所以 x 轴为匀强电场的等势面,带电粒子从开始运动到偏转再次回到 x 轴时,静电力做

功为 0,洛伦兹力不做功,则带电粒子再次回到 x 轴时的速度为 0,随后受静电力作用再次进入第二象限重复向左偏转。综上所述,可能正确描述该粒子运动轨迹的是 B 图。

答案:B

点评:本题考查的是叠加场中带电粒子的运动轨迹分析,可采用配速法对粒子的轨迹进行深度的探讨。将粒子的初速度零看成是一对等大反向的速度 v_0 和 v_1 的叠加,则粒子等效受到一个静电力和两个洛伦兹力的作用,令 $qv_0B = qE$, 即 $v_0 = \frac{E}{B}$, 此时粒子的运动可等效成两个分运动,分运动 1 是 qv_0B 和 qE 作用下的匀速直线运动,分运动 2 是 qv_1B 作用下的匀速圆周运动,由分运动 2 的轨迹可知,粒子的竖直分位移一直大于零,选项 C、D 错误。因为分运动 1 的水平位移大于分运动 2 的水平位移,所以粒子的水平合位移一定向左,选项 A 错误,B 正确。

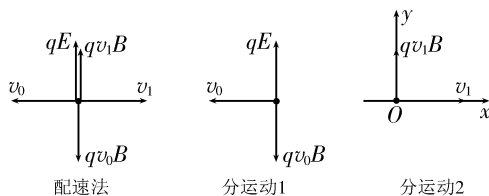


图 4

三、强化物理观念考查,注重科学方法的渗透

科学思维和科学方法是物理核心素养的重要组成部分,2022 年高考全国甲卷物理试题在深度考查物理观念的同时,注重科学方法的渗透,体现“授人以鱼不如授人以渔”的教育理念。例如,第 21 题以带电粒子在电场中做匀变速曲线运动为背景,考查运动的独立性、牛顿第二定律和匀变速直线运动规律等知识的同时,深度考查了运动分解法、等效重力法和对称法在物理学中的应用,体现科学方法的重要性。

例 4 (第 21 题) 地面上方某区域存在方向水平向右的匀强电场,将一带正电荷的小球从电场中 P 点水平向左射出。小球所受的重力和静电力的大小相等,重力势能和

电势能的零点均取在 P 点。则小球射出后，()。

- A. 小球的动能最小时，其电势能最大
- B. 小球的动能等于初始动能时，其电势能最大
- C. 小球速度的水平分量和竖直分量大小相等时，其动能最大

D. 从射出时刻到小球速度的水平分量为零时，重力做的功等于小球电势能的增加量

解析：对小球进行受力分析，如图 5 所示，因为 $qE = mg$ ，所以等效重力 G' 的方向与水平方向成 45° 角。当 $v_y = 0$ 时，速度最小，且 $v_{\min} = v_1$ ，因为此时 v_1 存在水平分量，静电力还可以做负功，所以此时的电势能不是最大的，选项 A 错误。当小球的速度没有水平分量时，其电势能最大。此时在水平方向上有 $v_0 = \frac{qE}{m}t$ ，在竖直方向上有 $v = gt$ ，又有 $qE = mg$ ，解得 $v = v_0$ ，即此时小球的动能等于初始动能，选项 B 正确。从射出时刻到小球速度的水平分量为零(小球的电势能最大)时，根据动能定理得 $W_{\text{重}} + W_{\text{电}} = 0$ ，即重力做的功等于小球电势能的增加量，选项 D 正确。当小球的速度如图中 v_1 所示时，速度的水平分量与竖直分量相等，其动能最小，选项 C 错误。

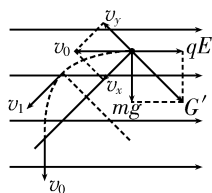


图 5

答案：BD

点评：本题除了可以采用等效重力法进行解答，还可以采用常规分解法结合 $v-t$ 图像进行分析。根据受力分析可知，粒子在竖直方向上做的是自由落体运动，在水平方向上做的是往返型匀变速直线运动，在水平方向上受到的静电力等于重力说明两个分运动的加速度大小均为 g 。根据如图 6 所示的 $v-t$ 图像，结合对称性可知，小球速度的水平分

量为零时，两个分运动的位移大小相等，此时重力对小球做的功等于小球克服静电力做的功，因此重力做的功等于小球电势能的增加量，选项 D 正确。小球速度的水平分量为零时，竖

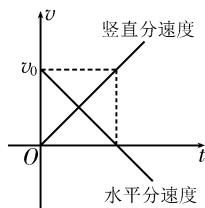


图 6

直分量为 v_0 ，此时小球的动能等于初始动能，小球克服静电力做功最多，其电势能最大，选项 A 错误，B 正确。小球的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2) = \frac{1}{2}m[(v_0 - gt)^2 + (gt)^2]$ ，这是一个开口向上的二次函数，因此当 $t = \frac{v_0}{2g}$ 时(此时两个分速度相等)，动能有最小值，选项 C 错误。

四、加强实验设计，注重实验探究能力的培养

实验是培养学生物理学科素养的重要途径，2022 年高考全国甲卷物理试题不仅在两道常规实验题的设置上突出了对探究能力的考查，而且在两道计算题中也以实验为背景，引导学生注重实验探究能力的培养。例如，第 22 题要求考生根据实验目的和提供的实验器材，画出测量微安表内阻的实验电路原理图，具有一定的探究性。再如，第 23 题利用气垫导轨对弹性碰撞进行研究，展示完整的实验探究过程，在形成结论部分，要求考生将理论与实验相结合，培养考生的证据意识。此外，第 24 题、第 25 题也均以实验为背景，凸现了物理实验在发展学生核心素养方面的重要地位和作用，引导高中课程开足开好实验课，鼓励学生开展各种科学探究活动，提高实验技能和创新能力。

例 5 (第 23 题)利用如图 7 所示的实验装置对碰撞过程进行研究。让质量为 m_1 的滑块 A 与质量为 m_2 的静止滑块 B 在水平气垫导轨上发生碰撞，碰撞时间极短，比较碰撞后滑块 A 和 B 的速度大小 v_1 、 v_2 ，进而分析碰撞过程是否为弹性碰撞。完成下列填空：

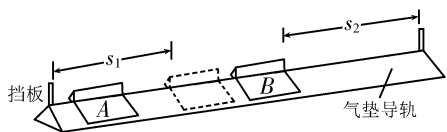


图 7

(1) 调节导轨水平；

(2) 测得两滑块的质量分别为 0.510 kg 和 0.304 kg, 要使碰撞后两滑块的运动方向相反, 应选取质量为 ___ kg 的滑块作为 A；

(3) 调节滑块 B 的位置, 使得滑块 A 与 B 接触时, 滑块 A 的左端到左边挡板的距离 s_1 与滑块 B 的右端到右边挡板的距离 s_2 相等；

(4) 使滑块 A 以一定的初速度沿气垫导轨运动, 并与滑块 B 碰撞, 分别用传感器记录滑块 A 和 B 从碰撞时刻开始到各自撞到挡板所用的时间 t_1 和 t_2 ；

(5) 将滑块 B 放回到碰撞前的位置, 改变滑块 A 的初速度大小, 重复步骤(4), 多次测量的结果如表 1 所示；

表 1

次数	1	2	3	4	5
t_1/s	0.49	0.67	1.01	1.22	1.39
t_2/s	0.15	0.21	0.33	0.40	0.46
$k = \frac{v_1}{v_2}$	0.31	k_2	0.33	0.33	0.33

(6) 表中的 $k_2 =$ ___ (保留 2 位有效数字)；

(7) $\frac{v_1}{v_2}$ 的平均值为 ___ (保留 2 位有效数字)；

(8) 理论研究表明, 对本实验的碰撞过程是否为弹性碰撞可由 $\frac{v_1}{v_2}$ 判断, 若两滑块的碰撞为弹性碰撞, 则 $\frac{v_1}{v_2}$ 的理论表达式为 ___ (用 m_1 和 m_2 表示), 本实验中其值为 ___ (保留 2 位有效数字), 若该值与(7)中结果间的差别在允许范围内, 则可认为滑块 A 与 B 在导轨上的碰撞为弹性碰撞。

解析: (2) 用质量较小的滑块碰撞质量较大的滑块, 才能使得碰后两滑块的运动方向相反, 故应选取质量为 0.304 kg 的滑块作为 A。

(6) 因为两段距离 s_1 和 s_2 相等, 所以根据表中数据得 $k_2 = \frac{v_1}{v_2} = \frac{t_2}{t_1} = \frac{0.21}{0.67} = 0.31$ 。

(7) $\frac{v_1}{v_2}$ 的平均值 $\bar{k} = \frac{0.31 + 0.31 + 0.33 + 0.33 + 0.33}{5} = 0.32$ 。

(8) 两滑块的碰撞为弹性碰撞时满足动量守恒定律和机械能守恒定律, 则 $m_A v_0 = -m_A v_1 + m_B v_2$, $\frac{1}{2} m_A v_0^2 = \frac{1}{2} m_A v_1^2 + \frac{1}{2} m_B v_2^2$,

解得 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_B - m_A}{2m_A}$, 代入数据得 $\frac{v_1}{v_2} = 0.34$ 。

答案: (2) 0.304 (6) 0.31 (7) 0.32

(8) $\frac{m_B - m_A}{2m_A}$ 0.34

点评: 弹性碰撞的特点是碰撞瞬间系统的动量和机械能都守恒, 识记重要结论“两物体发生弹性碰撞后的速度 $v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_0$ 和 $v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_0$ ”, 能够在考场上有限的时间提高解题效率。

例 6 (第 25 题) 光点式检流计是一种可以测量微小电流的仪器, 其简化的工作原理示意图如图 8 所示。图中 A 为轻质绝缘弹簧, C 为位于纸面上的线圈, 虚线框内有与纸面垂直的匀强磁场; M 为置于平台上的轻质小平面反射镜, 轻质刚性细杆 D 的一端与 M 固连且与镜面垂直, 另一端与弹簧下端相连, PQ 为圆弧形的、带有均匀刻度的透明读数条, PQ 的圆心位于 M 的中心, 使用前需调零, 使线圈内没有电流通过时, M 竖直且与纸面垂直; 入射细光束沿水平方向经 PQ 上的 O 点射到 M 上后沿原路反射。线圈通入电流后弹簧长度改变, 使 M 发生倾斜, 入射光束在 M 上的入射点仍近似处于 PQ 的圆心, 通过读取反射光射到 PQ 上的位置, 可以测得电流的大小。已知弹簧的劲度系数为 k, 磁场的磁感应强度为 B, 线圈 C 的匝数为 N。线圈沿水平方向的长度为 l, 细杆 D 的长度为 d, 圆弧 PQ 的半径为 r, $r \gg d$, d 远大

于弹簧长度改变量的绝对值。

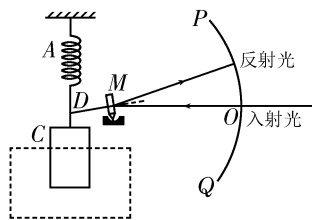


图 8

(1)若在线圈中通入的微小电流为 I , 求平衡后弹簧长度改变量的绝对值 Δx 及 PQ 上反射光点与 O 点间的弧长 s 。

(2)某同学用此装置测一微小电流, 测量前未调零, 将电流通入线圈后, PQ 上反射光点出现在 O 点上方, 与 O 点间的弧长为 s_1 。保持其他条件不变, 只将该电流反向接入, 则反射光点出现在 O 点下方, 与 O 点间的弧长为 s_2 。求待测电流的大小。

解析: (1)当线圈中通入微小电流 I 时, 设弹簧的形变量为 Δx , 则 $NBIl = k\Delta x$ 。因为 $d \gg \Delta x$, 细杆 D 左端划过的弧长很短, 弧长近似等于弦长, 所以 $\Delta x = d\theta$ 。当细杆 D 转过的弧度为 θ 时, 根据反射定律可知, 反射光线转过的弧度为 2θ , 有 $s = r \cdot 2\theta$ 。联立以上各式解得 $s = \frac{2NBIlr}{dk}$ 。

(2)在测量前未调零的情况下, 设线圈中没有通电流时光束偏移的弧长为 s' , 若初始时反射光点在 O 点上方, 则线圈中通电流 I' 后根据(1)中结论得 $s_1 = \frac{2NBI'lr}{dk} + s'$, 当线圈中的电流反向后有 $s_2 = \frac{2NBI'lr}{dk} - s'$, 解得 $I' = \frac{dk(s_1 + s_2)}{4NBIlr}$ 。若初始时反射光点在 O 点下方, 则可得同样的结果。因此待测电流的大小 $I' = \frac{dk(s_1 + s_2)}{4NBIlr}$ 。

点评: 本题以光点式检流计的设计原理为背景考查学生的建模能力和科学探究能力。要想顺利解答本题, 需要从以下两个角度入手: (1) 读懂光点式检流计的设计原理, 构建物理模型。当线圈中通入微小电流时, 在安培力作用下弹簧的长度发生改变, 从而

导致细杆 D 的左端发生微小移动, 细杆 D 的延长线是法线, 细杆 D 的位置改变时, 必然导致反射光线打在弧形刻度盘上的位置发生改变。(2) 注重误差消除, 提高实验精度。根据题意, (2) 问的测量中未进行测量前的刻度调零, 这说明本该是零的刻度, 读成了 s' 刻度, 读大了光束的偏移量, 实际测量时只有把这部分扣除才是真实值。此外明确刻度正负号和电流正负号的关系也很重要, 结合题中情景图, 可以取零刻度上方的弧形刻度为正值, 下方的弧形刻度为负值。基于以上分析, 当线圈中通电流 I' , 初始时反射光点在 O 点上方时有 $s_1 - s' = \frac{2NBI'lr}{dk}$, 当电流反向后有 $(-s_2) - s' = \frac{2NB(-I')lr}{dk}$, 两式相加把未调零带来的系统误差消除后, 便能精确测出微电流的大小。



备考建议

1. 强化基础性知识与规律的学习, 注重基本思想和基本方法的渗透。 一轮复习必须遵循教育规律, 必须回归课程标准和教材, 基本概念、基本规律和基本方法是物理学科的基石, 在一轮复习的过程中, 同学们不但要知道它们的来龙去脉, 还要明确它们的内涵和外延, 只有把知识的精髓内化为自己的素养, 才能在解题的过程中进行有效迁移。

2. 联系生产生活, 注重物理在日常生活中的应用。 高考已经从知识立意转向了能力立意, 而情景类试题是考查素养的良好载体, 因此同学们在复习备考过程中必须关注与生产生活、科技前沿等方面紧密联系的真实情景, 注重从实际情景中获取信息, 提炼物理模型, 经历解决真实问题的过程, 加强应用所学理论知识解决实际问题的能力, 从而达到提升物理核心素养的目的。

(责任编辑 张巧)



高三一轮复习检测题

(选修3-1、3-2) A卷



■河南省安阳市实验中学 黄琳

一、选择题(第 1~6 题只有一个选项正确,第 7~10 题有多个选项正确)

1. 如图 1 所示, xOy 平面是无穷大导体的表面,该导体充满 $z < 0$ 的空间, $z > 0$ 的空间为真空。将带电荷量为 $+q$ 的点电荷置于 z 轴上 $z = h$ 处,则在 xOy 平面上会产生感应电荷。空间任意一点处的电场皆是由点电荷和导体表面上的感应电荷共同激发的。已知静电平衡时导体内部场强处处为零,则在 z 轴上 $z = \frac{h}{2}$ 处的场强为()。

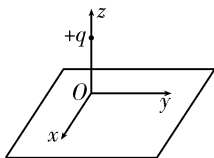


图 1

- A. 0
 B. $\frac{kq}{h^2}$
 C. $\frac{kq}{4h^2}$
 D. $\frac{40kq}{9h^2}$

2. 真空中有一半径为 r_0 的带电金属球,以球心 O 为坐标原点,沿某一半径方向为正方向建立 x 轴, x 轴上各点的电势 φ 随 x 的分布情况如图 2 所示,其中 x_1 、 x_2 、 x_3 分别是 x 轴上 A、B、C 三点的位置坐标。根据 $\varphi-x$ 图像可知,下列说法中正确的是()。

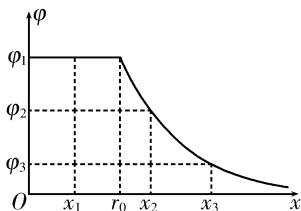


图 2

- A. 该金属球带负电
 B. A 点电场强度大于 C 点电场强度
 C. B 点的电场强度大小为 $\frac{\varphi_2 - \varphi_3}{x_3 - x_2}$
 D. 带电荷量为 $-q$ 的点电荷在 B 点的电势能比在 C 点的电势能低 $|q(\varphi_2 - \varphi_3)|$

3. 真空中存在空间范围足够大,方向水平向左的匀强电场。若将一个质量为 m ,带正电的小球从电场中某点由静止释放,则小球在运动过程中的速度与水平方向间的夹角为 53° 。现将该小球从电场中某点以初速度 v_0 竖直向上抛出,则小球在从抛出点运动至最高点的过程中电势能的变化量为(已知 $\sin 53^\circ = 0.8$, $\cos 53^\circ = 0.6$) ()。

- A. $\frac{3}{32}mv_0^2$
 B. $\frac{9}{16}mv_0^2$
 C. $\frac{9}{32}mv_0^2$
 D. $\frac{3}{16}mv_0^2$

4. 在如图 3 所示的电路中,理想变压器原、副线圈的匝数之比为 $n_1 : n_2$,电流表、电压表可视为理想电表,原线圈接电压稳定的正弦式交变电流, R_1 、 R_2 为定值电阻, R 为滑动变阻器,当滑动变阻器的滑片由 c 端向 d 端移动时,分别用 ΔI 和 ΔU 表示电流表、电压表示数的变化量(绝对值),则 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 等于()。

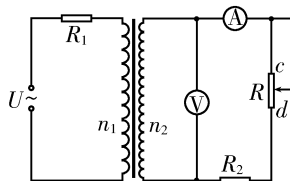


图 3

- A. $R_2 + R$
 B. $R_1 + R_2$

- C. $\frac{n_2}{n_1} R_1$ D. $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 R_1$

5. 如图 4 所示的四幅图中, 甲是质谱仪的工作原理示意图, 乙是速度选择器的工作原理示意图, 丙是磁流体发电机, 丁是霍尔元件, 下列说法中正确的是()。

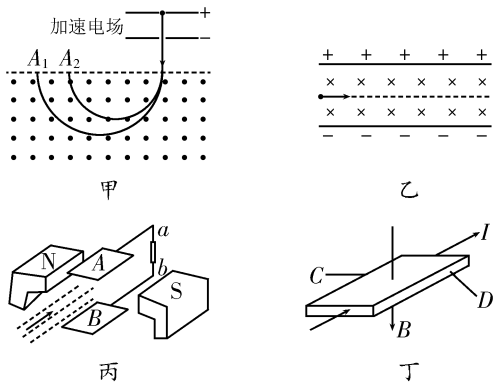


图 4

A. 图甲中, 氢的两种同位素由静止开始经加速电场射入磁场, 打到 A_1 位置的粒子的比荷比打到 A_2 位置的粒子的比荷大

B. 图乙中, 粒子能够沿直线匀速通过速度选择器的速度 $v = \frac{B}{E}$

C. 图丙中, 将一束等离子体喷入磁场, A、B 两极板间产生电势差, A 板的电势较低

D. 图丁中, 若载流子带负电, 则稳定时 C 板的电势较高

6. 电容为 C 的两个完全相同的并联电容器 C_1 、 C_2 与一个电感为 L 的线圈串联, 如图 5 所示。开关 S 断开, 电容器 C_1 两极板间的电压为 U , 电容器 C_2 和线圈中既没有电荷也没有电流, 线圈的自感系数 L 足够大。开关 S 接通后, 线圈中通过的电流的最大值为()。

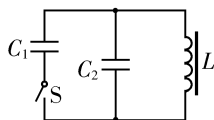


图 5

- A. $\frac{UC}{2L}$ B. $\frac{UC}{L}$
C. $U\sqrt{\frac{C}{2L}}$ D. $U\sqrt{\frac{C}{L}}$

7. 带电粒子经电势差为 U_1 的电场加速后, 以垂直于电场方向的速度进入由长度为 L 、电势差为 U_2 的平行金属板产生的匀强电

场中, 设两平行金属板间的距离 d 为一定值, 则粒子离开电场时的偏转角()。

- A. 随加速电场电势差 U_1 的增大而增大
B. 随偏转电场电势差 U_2 的增大而增大
C. 随粒子电荷量 q 的增大而增大
D. 随金属板长 L 的增大而增大

8. 如图 6 所示的虚线为半径为 R 、磁感应强度为 B 的圆形匀强磁场区域的边界, 磁场的方向垂直于圆平面向里。大量的比荷均为 $\frac{q}{m}$ 的相同粒子由

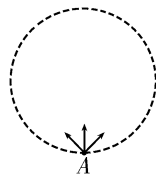


图 6

磁场边界的最低点 A 向圆平面内的不同方向以相同的速率 v_0 射入磁场, 粒子在磁场中做半径为 r 的圆周运动, 经过一段时间的偏转, 所有的粒子均由圆边界离开, 所有粒子的出射点的连线为虚线边界的 $\frac{1}{3}$, 粒子在圆形磁场中运动的最长时间用 t_{\max} 表示, 假设 $\frac{q}{m}$ 、 R 、 v_0 为已知量, 其余的量均为未知量, 忽略粒子自身重力及粒子间的相互作用, 则()。

- A. $B = \frac{2\sqrt{3}mv_0}{3qR}$
B. $B = \frac{\sqrt{3}mv_0}{3qR}$
C. $r = \sqrt{3}R$
D. $t_{\max} = \frac{\sqrt{3}\pi R}{v_0}$

9. 如图 7 所示, 等离子体以平行于两极板向右的速度 $v = 100 \text{ m/s}$ 进入两极板之间, 两极板间有磁感应强度大小 $B = 0.5 \text{ T}$, 方向垂直于纸面向里的匀强磁场, 两极板间的距离 $d = 10 \text{ cm}$, 两极板间等离子体的电阻 $r = 1 \Omega$ 。某同学在装有导电液体的玻璃皿的中心放一个圆柱形电极接电路中 B 点, 沿边缘放一个圆环形电极接电路中 A 点后完成“旋转的液体”实验。若蹄形磁铁两极间正对部分的磁场可视为匀强磁场, 上半部分为 S 极, 电路中定值电阻 $R_0 = 2 \Omega$, 闭合开关后, 当液体稳定旋转时电压表(视为理想电压表)的示数恒为 $U_{AB} = 2 \text{ V}$, 则()。

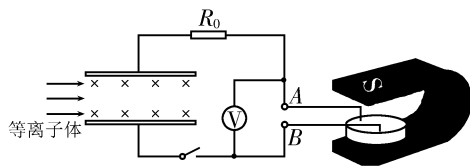


图 7

- A. 玻璃皿中的电流由中心流向边缘
- B. 由上往下看,液体沿逆时针方向旋转
- C. 通过电阻 R_0 的电流为 1 A
- D. 闭合开关后,电阻 R_0 的电功率为 2 W

10. 如图 8 所示,电阻 $R=0.1 \Omega$ 的正方形单匝线框 $abcd$ 的边长 $L=0.2 \text{ m}$, bc 边与匀强磁场边缘重合。磁场的宽度等于线框的边长,磁感应强度大小 $B=0.5 \text{ T}$,方向垂直于纸面向里。在水平拉力作用下,线框以速度 $v=8 \text{ m/s}$ 向右穿过磁场区域,则下列说法中正确的是()。

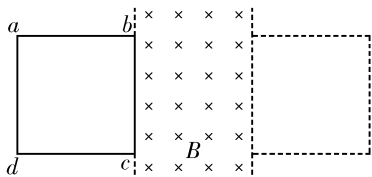


图 8

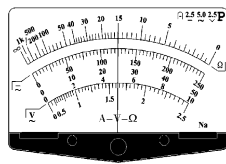
- A. 线框切割磁感线产生的感应电动势的大小 $E=0.8 \text{ V}$
- B. 线框在穿越磁场区域的过程中受到的水平拉力的大小 $F=3.2 \text{ N}$
- C. 线框穿过磁场区域所用的时间 $t=0.1 \text{ s}$
- D. 线框在穿越磁场区域的过程中产生的热量 $Q=0.32 \text{ J}$

二、实验题

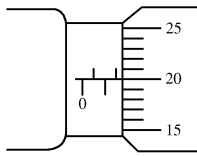
11. (1)市场上销售的铜质电线产品中存在部分导体电阻不合格的,质检部门先用多用表“ $\times 1$ ”欧姆挡粗测其电阻如图 9 甲所示,再用螺旋测微器测量其直径如图 9 乙所示,则该电线的电阻 $R_x = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$,直径 $D = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$ 。

(2)将该段电线带至实验室设计实验电路测量其电阻率,实验室提供的器材如下:

- A. 电流表 A_1 (量程为 $0 \sim 0.6 \text{ A}$,内阻约



甲



乙

图 9

为 0.8Ω ,电流表 A_2 (量程为 $0 \sim 1.5 \text{ A}$,内阻约为 10Ω)

B. 电压表 V (量程为 $0 \sim 3 \text{ V}$,内阻为 $3 \text{ k}\Omega$)

C. 滑动变阻器 R_1 (阻值范围为 $0 \sim 10 \Omega$),滑动变阻器 R_2 (阻值范围为 $0 \sim 200 \Omega$)

D. 定值电阻 $R=3 \text{ k}\Omega$

E. 电源 E (电动势为 6 V ,内阻约为 10Ω)

F. 待测电阻 R_x ,开关和导线若干

利用所给器材设计实验电路,并在图 10 中画出完整的实验电路图,要求电表的示数可以从零起且读数要超过满量程的 $\frac{1}{3}$,电流表应选择____,滑动变阻器应选择____(填器材的符号)。

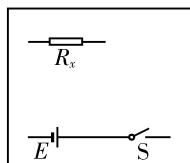


图 10

(3)利用设计的电路图进行实验,读出多组电压表和电流表的示数,画出的 $U-I$ 图像是过原点的倾斜直线,斜率为 k ,计算电线电阻率的表达式为 $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 $U-I$ 图像的斜率 k ,电线的直径 D 和长度 L 表示,且忽略电表的内阻带来的系统误差)。

三、计算题

12. 如图 11 所示,在竖直平面内,一个质量为 m ,带电荷量为 $-q$ 的液滴,以一定的初速度 v_0 从坐标原点 O ,与 x 轴正方向成 θ 角射入与 x 轴同向的匀强电场中,当液滴运动到最高点 P 时,它的速度大小仍为 v_0 ,试求:

- (1)最高点 P 的位置在坐标原点 O 正上方、左上方还是右上方? 简述理由。

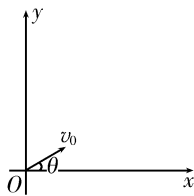


图 11

(2) 匀强电场的场强 E , 最高点 P 与原点 O 间的电势差 U 各为多大?

13. 如图 12 甲所示, A 、 B 是两块水平放置的足够长平行金属板, 组成偏转匀强电场, B 板接地, A 板电势 φ_A 随时间 t 变化的情况如图 12 乙所示, C 、 D 两平行金属板竖直放置, 中间有两正对小孔 O_1' 和 O_2 , 两板间电压为 U_2 , 组成减速电场。现有一带负电粒子在 $t=0$ 时刻以一定初速度沿 A 、 B 两板间的中轴线 O_1O_1' 射入偏转电场, 并能从 O_1' 沿连线 $O_1'O_2$ 进入减速电场。已知粒子的带电荷量为 $-q$, 质量为 m , 不计粒子自身重力, 求:

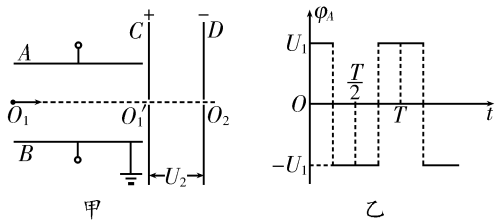


图 12

(1) 该粒子进入 A 、 B 两板间的初速度 v_0 为多大时, 粒子刚好能到达 O_2 孔?

(2) 在(1)的条件下, A 、 B 两板长度的最小值为多少?

(3) A 、 B 两板间距的最小值为多少?

14. 如图 13 所示, 一电阻为 R_1 的匀质光滑金属环竖直放置, 一根电阻为 r , 长度为 l 的轻质金属杆可绕杆中心 O 无摩擦地转动, 金属杆两端各固定一个金属球并套在金属环上可沿环滑动, 两金属球的质量分别为 M 、 m , 且 $M > m$, Oa 为一导线, 连接金属杆中心 O 和金属环并沿水平方向, 电阻为 R_2 。把金属杆从水平位置自由释放, 金属杆转至竖直位置时的角速度为 ω 。

(1) 求金属杆转至竖直位置时, 回路中电流的瞬时功率。

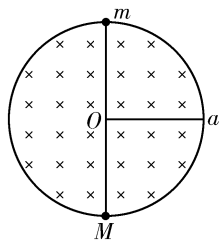


图 13

(2) 若金属杆从水平位置转至竖直位置的过程所经历的时间为 t , 求此过程中感应电动势的有效值。

15. 在如图 14 所示的直角坐标系中, 在直线 $x = -2l_0$ 到 y 轴区域内存在着两个大小相等, 方向相反的有界匀强电场, 其中 x 轴上方的电场方向沿 y 轴负方向, x 轴下方的电场方向沿 y 轴正方向。在电场左边界上 A 点 $(-2l_0, -l_0)$ 到 C 点 $(-2l_0, 0)$ 区域内, 连续分布着电荷量为 $+q$, 质量为 m 的粒子。从某时刻起由 A 点到 C 点间的粒子, 依次连续以相同的速度 v_0 沿 x 轴正方向射入电场。若从 A 点射入的粒子恰好从 y 轴上的 A' 点 $(0, l_0)$ 沿 x 轴正方向射出电场, 其轨迹如图中虚线所示, 不计粒子自身重力及它们之间的相互作用。

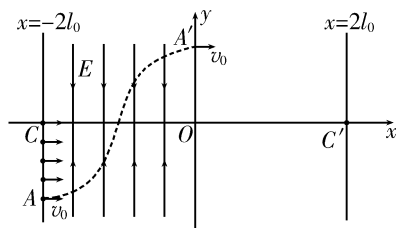


图 14

(1) 求匀强电场的电场强度 E 。

(2) 在 A 点到 C 点区域内还有哪些位置的粒子, 通过电场后也能沿 x 轴正方向运动?

(3) 若以直线 $x = 2l_0$ 上的某点为圆心的圆形区域内, 分布着垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场, 使沿 x 轴正方向射出电场的粒子, 经磁场偏转后, 都能通过直线 $x = 2l_0$ 与圆形磁场边界的一个交点处, 而便于被收集, 则磁场区域的最小半径是多大? 相应的磁感应强度 B 是多大?

(责任编辑 张 巧)

高三一轮复习检测题

(选修3—1、3—2)

卷



■湖南省湘阴县第一中学 杨宗礼

一、选择题(第 1~6 题只有一个选项正确,第 7~10 题有多个选项正确)

1. 如图 1 所示,虚线 a 、 b 、 c 代表电场中的三个等势面,相邻等势面之间的电势差相等,即 $U_{ab} = U_{bc}$,实线为一带负电的质点仅在静电力作用下通过该区域时的运动轨迹, P 、 Q 是这条轨迹上的两点,据此可知()。

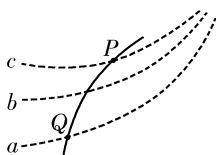


图 1

- A. 三个等势面中, c 的电势最高
- B. 质点通过 P 点时的电势能比通过 Q 点时的大
- C. 质点通过 P 点时的动能比通过 Q 点时的大
- D. 质点通过 P 点时的加速度比通过 Q 点时的小

2. 电动汽车的发展有助于改善城市空气质量。如图 2 所示为某电动汽车的电路示意简图,若汽车电池组的电动势为 400 V ,内阻为 $0.5\ \Omega$,容量为 $20\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。当汽车以 90 km/h 的速度匀速行驶时,受到的阻力约为 400 N ,此时直流驱动电机的输入电压为 300 V ,输入功率为 15 kW ,则()。

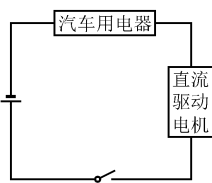


图 2

- A. 当汽车以 90 km/h 的速度行驶时,电路中的电流为 100 A
- B. 汽车电池组的热功率为 5 kW
- C. 直流驱动电机的内阻约为 $1\ \Omega$
- D. 当汽车以 90 km/h 的速度行驶时,最大行驶里程约为 90 km

3. 如图 3 所示,三根通电长直导线平行放置,其截面构成等边三角形, O 点为三角形的中心,通过三根长直导线的电流大小分别用 I_1 、 I_2 、 I_3 表示,电流方向如图所示。当 $I_1 = I_2 = I_3 = I$ 时, O 点的磁感应强度大小为 B 。已知通电长直导线在某点产生的磁感应强度大小跟电流成正比,则下列说法中正确的是()。

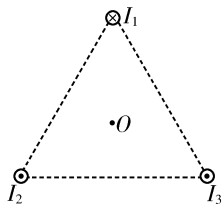


图 3

- A. 当 $I_1 = 3I$, $I_2 = I_3 = I$ 时, O 点的磁感应强度大小为 $2B$
- B. 当 $I_1 = 3I$, $I_2 = I_3 = I$ 时, O 点的磁感应强度大小为 $3B$
- C. 当 $I_2 = 3I$, $I_1 = I_3 = I$ 时, O 点的磁感应强度大小为 $\frac{\sqrt{3}}{2}B$
- D. 当 $I_3 = 3I$, $I_1 = I_2 = I$ 时, O 点的磁感应强度大小为 $2\sqrt{3}B$

4. 现代质谱仪可用来分析比质子重很多倍的离子,其示意图如图 4 所示,其中加速电场的电压恒定。质子(${}^1_1\text{H}$)在入口处由静止开始被电场加速,经磁感应强度为 B 的匀强磁场偏转后从出口离开磁场。若换作 α 粒子(${}^4_2\text{He}$)在入口处由静止开始被同一电场加速,为使它经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开磁场,则需将磁场的磁感应强度大小变为()。

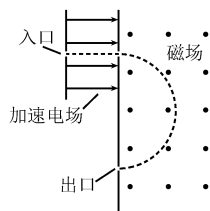


图 4

- A. $2B$
- B. $\sqrt{2}B$

- C. $\frac{\sqrt{2}}{2}B$ D. $\frac{1}{2}B$

5. 如图 5 所示, 交流发电机的线圈为边长为 L 的正方形, 线圈匝数为 N , 线圈电阻为 r , 外电路电阻为 R . 线圈在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中绕垂直于磁场方向的转轴 OO' 匀速转动, 转速为 n . 图中电表均为理想交流电表, 下列说法中正确的是().

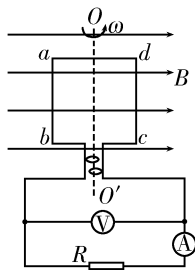


图 5

- A. 图示位置穿过线圈的磁通量最大
B. 感应电动势的最大值为 $\pi NBL^2 n$
C. 电流表的示数为 $\frac{\sqrt{2} \pi n NBL^2}{R+r}$
D. 电压表的示数为 $\frac{\sqrt{2} \pi NBL^2 nr}{R+r}$

6. 如图 6 所示, 一个等腰直角三角形的匀强磁场区域的直角边长为 L , 磁场方向垂直于纸面向外, 磁感应强度大小为 B . 边长为 L , 总电阻为 R 的正方形导线框 $abcd$, 从图示位置开始沿 x 轴正方向以速度 v 匀速穿过磁场区域, 取沿 $abcd$ 方向的感应电流为正, 则图 7 中表示线框中感应电流 i 随 bc 边的位置坐标 x 变化的图像正确的是().

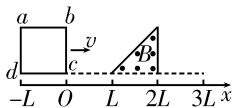


图 6

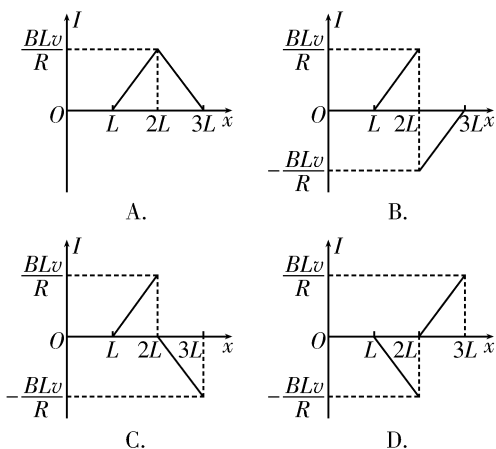


图 7

7. 空间中存在一静电场, 一电子从 $x=0$ 处以一定的初速度沿 x 轴正方向射出, 仅在静电力作用下在 x 轴上做直线运动, 其电势能 E_p 随位置 x 变化的关系如图 8 所示。下列判断中正确的是()。

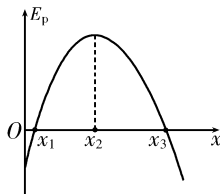


图 8

- A. x_1 处的电场强度比 x_3 处的大
B. x_2 处的电势最大, 电场强度最小
C. x_3 处的电场强度方向沿 x 轴正方向
D. 电子在 $x=0$ 处的速度大于在 x_3 处的速度

8. 随着人们对身体健康的重视, 很多家庭都备有电子体重计。某种电子体重计的原理如图 9 所示, 它的主要部件有供人站立的、不计质量的踏板, 一个由阻值可随压力大小而变化的电阻做成的压力传感器 R , 量程为 $0 \sim 3 \text{ A}$ 的理想电流表 G (用来显示体重)。所配电源的电动势为 12 V , 内阻为 2Ω , 压力传感器 R 的阻值随压力变化的函数关系式为 $R=30-0.02F$ (F 和 R 的单位分别是 N 和 Ω)。下列说法中正确的是()。

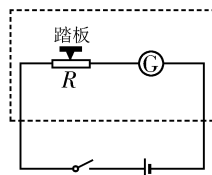


图 9

- A. 该体重计能测量的最大体重是 1500 N
B. 该体重计能测量的最大体重是 1400 N
C. 该体重计的零刻度线(踏板空载时的刻度线)应标在电流表 G 刻度盘的 0.375 A 处
D. 该体重计的零刻度线(踏板空载时的刻度线)应标在电流表 G 刻度盘的 0.400 A 处

9. 磁悬浮列车是高速低耗交通工具, 它的驱动系统可简化为如图 10 所示的物理模型。固定在列车底部的正方形金属线框的边长为 L , 匝数为 N , 总电阻为 R ; 水平面内平行长直导轨间存在磁感应强度大小均为 B , 方向交互相反, 边长均为 L 的正方形组合匀强磁场。当磁场以速度 v 匀速向右移动时,

可驱动停在轨道上的列车,则()。

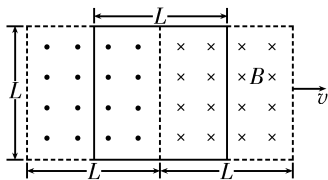


图 10

- A. 图示时刻,线框中的感应电流沿逆时针方向
- B. 列车行驶的方向与磁场移动的方向相同
- C. 列车速度为 v' 时,线框中的感应电动势大小为 $2NBL(v-v')$
- D. 列车速度为 v' 时,线框受到的安培力大小为 $\frac{2NB^2L^2(v-v')}{R}$

10. 如图 11 所示,理想变压器上连接着四个灯泡,其中灯泡 L_1 、 L_2 的额定电压为 $2U$,额定电流为 $2I$,灯泡 L_3 、 L_4 的额定电压为 U ,额定电流为 I 。当开关 S 闭合时,四个灯泡均正常发光,电压表为理想电表。下列说法中正确的是()。

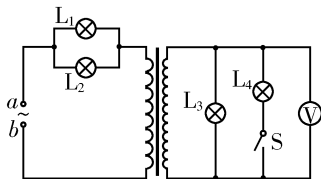


图 11

- A. a 、 b 两端的电压 $U_{ab} = 3U$
- B. 变压器原、副线圈的匝数比为 $1:2$
- C. 当开关 S 断开时,原线圈中的灯泡 L_1 、 L_2 都变亮
- D. 当开关 S 断开时,电压表的示数增大

二、实验题

11. 为了较准确地测量一节干电池的电动势和内阻(约为 $2\ \Omega$),可使用的主要器材如下:

- A. 电流表 G:测量范围为 $0\sim 10\ \text{mA}$,内阻为 $100\ \Omega$
- B. 电流表 A:测量范围为 $0\sim 0.4\ \text{A}$,内阻为 $1.5\ \Omega$
- C. 电阻箱 R_0 :电阻变化范围为 $0\sim$

$999.9\ \Omega$

D. 滑动变阻器 R :电阻变化范围为 $0\sim 20\ \Omega$

E. 开关一个,导线若干

(1)将电流表 G 改装成量程为 $0\sim 2\ \text{V}$ 的电压表,则与电流表 G 串联的电阻箱 R_0 的阻值应调为_____。

- A. $50.0\ \Omega$
- B. $70.0\ \Omega$
- C. $100\ \Omega$
- D. $100.0\ \Omega$

(2)将改装后的电流表 G 和电流表 A 接入电路,为了让测量过程更方便,测量结果更准确,应选择的电路是图 12 中的____(选填“甲”或“乙”)。

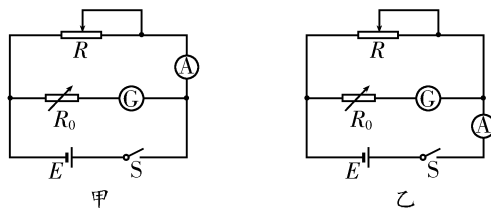


图 12

(3)若选择正确的电阻箱 R_0 阻值与图 12 中的乙图进行实验,得到电流表 G 和 A 的 6 组数据如表 1 所示。

表 1

次数	1	2	3	4	5	6
表 G 读数 $I_g(\text{mA})$	5.80	5.10	4.60	4.10	3.60	3.20
表 A 读数 $I(\text{A})$	0.161	0.200	0.231	0.260	0.291	0.310

在图 13 中补全数据点绘出 I_g-I 图像。

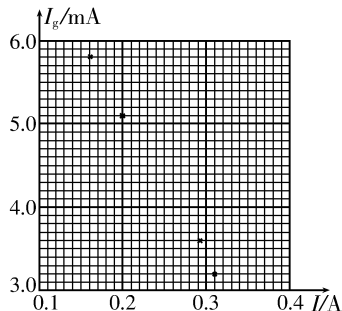


图 13

(4)分析 I_g-I 图像可知,干电池的电动势为_____V,内阻为_____ Ω 。(保留三位有效

数字)

三、计算题

12. 如图 14 所示,空间分布着场强为 E ,方向竖直向下的电场,长度为 L 的不可伸长轻绳固定于 O 点,另一端系一质量为 m ,带电荷量为 $+q$ 的小球。拉起小球至轻绳水平后在 A 点无初速度释放,当小球运动至 O 点的正下方 B 点时,轻绳恰好断裂,小球继续运动并垂直打在同一竖直平面内且与水平面成 θ 角,无限大的挡板 MN 上的 C 点,重力加速度为 g ,试求:

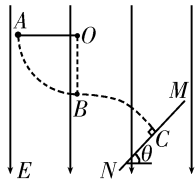


图 14

13. 如图 15 所示,平面直角坐标系 xOy 内, x 轴上方存在垂直于纸面向外的匀强磁场,磁感应强度 $B=0.2\text{ T}$, y 轴上 P 点 $(0, 16\text{ cm})$ 有一粒子源,能向各个方向释放出比荷为 $4 \times 10^8\text{ C/kg}$ 的正粒子,粒子的初速度 $v_0=8 \times 10^6\text{ m/s}$,不计粒子自身重力,求 x 轴上有粒子穿过的坐标范围。

14. 如图 16 甲所示,足够长金属导轨 MN 和 PQ 平行放置,间距 $L=1\text{ m}$,与水平面之间的夹角 $\alpha=37^\circ$,匀强磁场的磁感应强度 $B=2\text{ T}$,方向垂直于导轨平面向上, M 、 P 两端接有阻值 $R=1.5\ \Omega$ 的电阻,质量 $m=0.5\text{ kg}$,电阻 $r=0.5\ \Omega$ 的金属杆 ab 垂直导轨放置,金属杆 ab 与导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.2$ 。现用恒力 F 沿导轨平面向上拉金属杆 ab ,使其由静止开始运动,当金属杆 ab 上滑的位移 $s=3.8\text{ m}$ 时达到稳定状态,对应过程中金属杆 ab 的 $v-t$ 图像如图 16 乙所示。取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ=0.6$, $\cos 37^\circ=0.8$,导轨电阻不计。求:

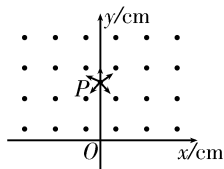


图 15

(1) 恒力 F 的大小及金属杆 ab 的速度为 0.4 m/s 时的加速度大小。

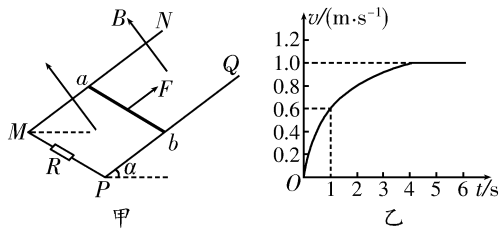


图 16

(2) 在 $0\sim 1\text{ s}$ 时间内,通过电阻 R 的电荷量 q 。

(3) 从金属杆 ab 开始运动到它刚好达到稳定状态的过程中,金属杆 ab 中产生的焦耳热。

15. 如图 17 所示,在直角坐标系 xOy 的第一象限内,圆心为 K 的两个同心圆的半径分别为 R 和 $3R$,大圆与两坐标轴分别相切,在 x 轴上的切点为 M , MN 连线与 y 轴平行, N 点在大圆上。两同心圆之间的环状区域内存在垂直于纸面向里的匀强磁场,小圆内存在垂直于纸面向外的匀强磁场,两磁场的磁感应强度大小相等。在第四象限内分布着沿 y 轴正方向的匀强电场。一质量为 m ,带电荷量为 $+q$ 的粒子从 y 轴上的 P 点沿 x 轴正方向以某一初速度射入匀强电场区域,经过 M 点时以速度 v_0 进入两同心圆之间的环状区域,且速度 v_0 的方向与 MN 连线之间的夹角 $\alpha=30^\circ$ 。已知粒子在环状磁场中的运动轨迹半径为 $2R$,且恰好从 N 点射出磁场,粒子自身的重力忽略不计。求:

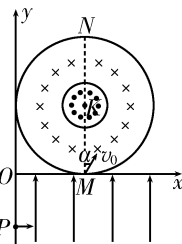


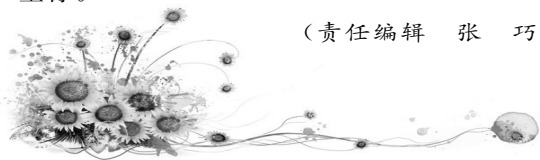
图 17

(1) 电场强度的大小。

(2) 磁感应强度的大小及粒子从 M 点运动到 N 点所用的时间。

(3) 若粒子从第四象限中 NM 延长线上的某点由静止释放,则粒子进入磁场后刚好不进入小圆区域,求此次粒子释放时的位置坐标。

(责任编辑 张 巧)





“恒定电流”常见问题解题方略

■湖南省汨罗市一中 蒋 纬

一、“恒定电流”电路问题的解题方略

1. 处理串、并联电路,以及简单的混联电路的方法:(1)准确判断电路的连接方式,画出等效电路图;(2)正确利用串、并联电路的基本规律和性质列关系式;(3)灵活选用恰当的关系式进行计算。

2. 简化电路的原则:(1)将无电流的支路去除;(2)将电势相等的点合并;(3)导线可以任意改变长短;(4)理想电流表的电阻为零,理想电压表的电阻为无穷大;(5)电压稳定时,电容器可视为断路。

3. 熟记基本定律的公式并能够灵活运用:部分电路欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 和闭合电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$,电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$,焦耳定律 $Q = I^2 R t$ 。

例 1 用如图 1 所示的电路可以测量电阻的阻值。图中 R_x 是待测电阻, R_0 是定值电阻, G 是灵敏度很高的电流表, MN 是一段均匀的电阻丝。闭合开关 S , 改变滑片 P 的位置, 当通过电流表 G 的电流为零时, 测得 $MP = l_1$, $PN = l_2$, 则待测电阻 R_x 的阻值为()。

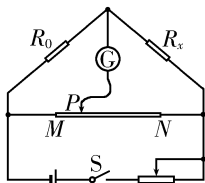


图 1

- A. $\frac{l_1}{l_2} R_0$ B. $\frac{l_1}{l_1+l_2} R_0$
C. $\frac{l_2}{l_1} R_0$ D. $\frac{l_2}{l_1+l_2} R_0$

解析: 设 R_0 、 R_x 与 G 三者的结点为 Q , 当通过电流表 G 的电流为零时, 说明 $\varphi_P = \varphi_Q$, 则 $U_{R_0} = U_{RMP}$, $U_{R_x} = U_{RPN}$, 设 $I_{R_0} = I_{R_x} = I_0$, $I_{RMP} = I_{RPN} = I$, 则 $I_0 R_0 = I R_{MP}$, $I_0 R_x = I R_{PN}$, 两式相除得 $\frac{R_0}{R_x} = \frac{R_{MP}}{R_{PN}}$, 解得 $R_x =$

$\frac{R_{PN}}{R_{MP}} R_0$ 。根据电阻定律得 $R_x = \frac{l_2}{l_1} R_0$ 。

答案:C

二、“恒定电流”图像问题的解题方略

1. 电阻的 $I-U$ 图像如图 2 所示, 图甲中的直线 a 、 b 表示线性元件, 图乙中的曲线 c 、 d 表示非线性元件。 $I-U$ 图像上某点的切线斜率表示电阻的倒数, 斜率越大, 电阻越小, 故图甲中 $R_a < R_b$, 图乙中曲线 c 对应元件的电阻随电压的增大而减小, 曲线 d 对应元件的电阻随电压的增大而增大。

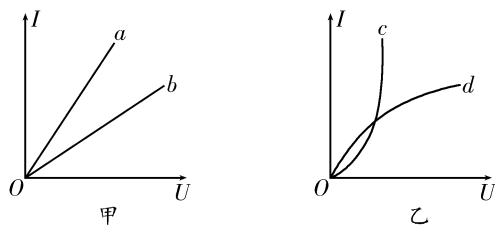


图 2

2. 电源的 $U-I$ 图像如图 3 所示, 直线与纵轴的交点表示电路断开时的情况, 纵轴截距为电源电动势 E ; 直线与横轴的交点表示外电路发生短路时的情况, 即 $I_0 = \frac{E}{r}$; $U-I$ 图像斜率的绝对值表示电源的内阻。

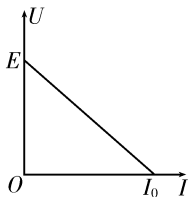


图 3

例 2 硅光电池是一种太阳能电池, 具有低碳环保的优点。如图 4 所示, 曲线 a 是该电池在某光照强度下路端电压 U 和电流 I 的关系图像(电池内阻不是常数), 直线 b 是某定值电阻 R 的 $U-I$ 图像。在该光照强度下将它们组成闭合回路时, 硅光电池的内阻为()。

- A. 8Ω B. 10Ω

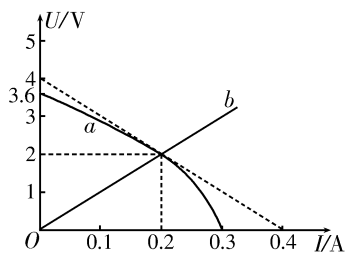


图 4

- C. 12Ω D. 12.5Ω

解析: 在由硅光电池和定值电阻 R 组成的电路中, 根据闭合电路欧姆定律得 $U = E - Ir$, 当 $I = 0$ 时, $E = U$, 由曲线 a 与纵轴的交点坐标读出硅光电池的电动势 $E = 3.6 \text{ V}$ 。根据曲线 a 和直线 b 的交点坐标可知, 定值电阻 R 两端的电压为 2 V , 电路中的电流为 0.2 A , 则硅光电池的内阻 $r = \frac{3.6 - 2}{0.2} \Omega = 8 \Omega$ 。

答案: A

三、直流电路动态分析问题的解题方略

程序法: 基本思路是“部分 \rightarrow 整体 \rightarrow 部分”, 即从阻值的变化入手, 根据串、并联电路规律判定 $R_{\text{总}}$ 的变化情况, 再根据闭合电路欧姆定律判断 $I_{\text{总}}$ 和 $U_{\text{端}}$ 的变化情况, 最后根据部分电路欧姆定律及串联分压、并联分流等规律判断各部分电路的变化情况。

例 3 在如图 5 所示的电路中, E 为电源, R_0 为定值电阻, R_1 为光敏电阻(其阻值随光照强度的增大而减小), R_2 、 R_3 为滑动变阻器, C 为平行板电容器。当开关 S 闭合时, 电容器 C 两极板间有一带电微粒恰好处于静止状态。下列说法中正确的是()。

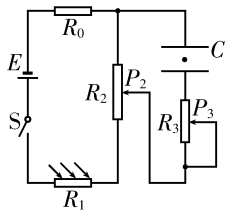


图 5

A. 只逐渐增大照在光敏电阻 R_1 上的光照强度的情况下, 电阻 R_0 消耗的电功率变大, 带电微粒向上运动

B. 只将滑动变阻器 R_3 的滑片 P_3 向上移动的情况下, 电源消耗的电功率变大, 带电微粒向上运动

C. 只将滑动变阻器 R_2 的滑片 P_2 向下移动的情况下, 带电微粒向下运动

D. 断开开关 S , 带电微粒向下运动

解析: 只逐渐增大照在光敏电阻 R_1 上的光照强度的情况下, 光敏电阻 R_1 的阻值减小, 外电路总电阻减小, 总电流增大, 电阻 R_0 消耗的电功率变大, 滑动变阻器 R_2 两端的电压变大, 电容器 C 两端的电压增大, 电容器 C 两极板间的场强增大, 带电微粒受到的静电力增大, 将向上运动, 选项 A 正确。滑动变阻器 R_3 与电容器 C 串联, 当电路稳定后电容器 C 可认为是断路, 因此只将滑动变阻器 R_3 的滑片 P_3 向上移动的情况下, 不会影响电路中的电流和电压, 即带电微粒静止不动, 选项 B 错误。只将滑动变阻器 R_2 的滑片 P_2 向下移动的情况下, 与电容器 C 并联部分的电阻变大, 电容器 C 两端的电压变大, 两极板间的场强增大, 带电微粒受到的静电力增大, 将向上运动, 选项 C 错误。断开开关 S , 电容器 C 处于放电状态, 所带电荷量变少, 两极板间的场强减小, 带电微粒受到的静电力减小, 将向下运动, 选项 D 正确。

答案: AD

四、非纯电阻(含电动机)电路问题的解题方略

1. 抓住两个关键量: 电动机两端的电压 U_M 和通过电动机的电流 I_M 。若能求出 U_M 、 I_M , 就能求出电动机的电功率 $P = U_M I_M$; 若已知电动机的内阻 r 和通过电动机的电流 I_M , 就能求出电动机的热功率 $P_r = I_M^2 r$, 以及输出功率 $P_{\text{出}} = P - P_r$ 。

2. 坚持“躲着”求解 U_M 、 I_M : 先对其他纯电阻电路、电源的内电路等, 利用欧姆定律进行分析计算, 确定相应的电压或电流, 再利用闭合电路的电压关系、电流关系间接确定非纯电阻电路的工作电压和电流。

3. 应用能量守恒定律分析: 要善于从能量转化的角度出发, 紧紧围绕能量守恒定律, 利用“电功 = 电热 + 其他能量”寻找等量关系求解。

例 4 在如图 6 甲所示的电路中, M 为一电动机, 在滑动变阻器 R 的滑片从一端滑

到另一端的过程中,两电压表的读数随电流表读数的变化情况如图6乙所示。已知电流表读数小于0.2 A时,电动机M没有发生转动。不考虑电表对电路的影响,以下判断错误的是()。

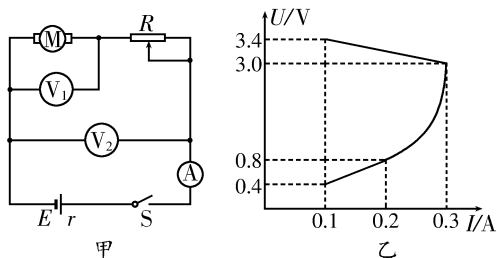


图6

- A. 电源的电动势为 3.6 V
B. 当滑动变阻器 R 的滑片从左向右滑动时,电压表 V_2 的读数逐渐减小
C. 电动机 M 的最大输出功率为 0.9 W
D. 滑动变阻器 R 的最大阻值为 30 Ω

解析:根据电路图可知,电压表 V_2 测量的是路端电压,电压表 V_1 测量的是电动机 M 两端的电压,电流表测量的是串联电路中的电流,随着电流的增大,电源的内电压增大,路端电压减小,因此图乙中最上面的线段表示电压表 V_2 的读数与电流的关系,且此线段的斜率大小等于电源的内阻 r ,则 $r = \frac{3.4 - 3.0}{0.3 - 0.1} \Omega = 2 \Omega$ 。当电流 $I = 0.1 \text{ A}$ 时, $U_2 = 3.4 \text{ V}$,则电源的电动势 $E = U_2 + Ir = 3.6 \text{ V}$,选项 A 正确。当滑动变阻器 R 的滑片从左向右滑动时,滑动变阻器 R 接入电路的阻值增大,电路中的电流减小,电源的内电压减小,路端电压(电压表 V_2 的读数)增大,选项 B 错误。根据图乙可知,电动机 M 的内阻 $r_M = \frac{0.8 - 0.4}{0.2 - 0.1} \Omega = 4 \Omega$ 。当 $I = 0.3 \text{ A}$ 时, $U_1 = 3.0 \text{ V}$,电动机 M 的输出功率最大,且输出功率的最大值 $P_{\max} = U_1 I - I^2 r_M = 0.54 \text{ W}$,选项 C 错误。当 $I = 0.1 \text{ A}$ 时,电路中的电流最小,滑动变阻器 R 接入电路的阻值为最大值,因此 $R = \frac{E}{I} - r - r_M = 30 \Omega$,选项 D 正确。

答案:BC

五、含电容器电路问题的解题方略

1. 确定电容器和哪个电阻并联,该电阻两端电压即为电容器两端电压。
2. 当电容器和某一电阻串联后接在某一电源两端时,此电源的路端电压即为电容器两端电压。
3. 当电容器与电源直接相连时,电容器两极板间的电压即为电源电动势。

例 5 在如图 7 所示的电路中,两电容器的电容分别为 $C_1 = 6 \mu\text{F}$, $C_2 = 3 \mu\text{F}$,两定值电阻的阻值 $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$,电源的电动势 $E = 18 \text{ V}$,内阻不计,下列说法中正确的是()。

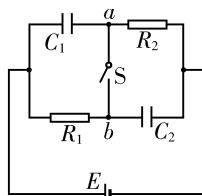


图7

- A. 当开关 S 断开时,稳定状态下 a、b 两点的电势相等
B. 当开关 S 闭合时,稳定状态下 a、b 两点间的电流是 2 A
C. 当开关 S 断开时电容器 C_1 所带电荷量比开关 S 闭合后电容器 C_1 所带电荷量大
D. 不论开关 S 是断开还是闭合,电容器 C_1 所带电荷量总比电容器 C_2 所带电荷量大

解析:当开关 S 断开时,稳定状态下外电路处于断路状态,两电阻中均无电流通过,电阻两端电势相等,a 点电势与电源负极电势相等,而 b 点电势与电源正极电势相等,选项 A 错误。当开关 S 断开时,两电容器两端电压都等于电源电动势,而 $C_1 > C_2$,根据 $Q = CU$ 可知, $Q_1 > Q_2$ 。当开关 S 闭合时,稳定状态下电容器 C_1 与电阻 R_1 并联,电容器 C_2 与电阻 R_2 并联,干路中的电流 $I = \frac{E}{R_1 + R_2} = 2 \text{ A}$,两电阻两端电压分别为 $U_1 = IR_1 = 6 \text{ V}$, $U_2 = IR_2 = 12 \text{ V}$,两电容器所带电荷量分别为 $Q_1' = C_1 U_1 = 3.6 \times 10^{-5} \text{ C}$, $Q_2' = C_2 U_2 = 3.6 \times 10^{-5} \text{ C}$,即 $Q_1' = Q_2'$ 。对电容器 C_1 来说,开关 S 闭合后其两端电压减小,所带电荷量也减小,选项 B、C 正确,D 错误。

答案:BC

跟踪训练

1. 温度传感器广泛应用于室内空调、电冰箱等家用电器中,它是利用热敏电阻的阻值随着温度变化而变化的特性来工作的。如图 8 甲所示,电源的电动势 $E=9\text{ V}$,内阻不计; G 为灵敏电流表,其内阻 R_g 保持不变; R_1 为热敏电阻,其阻值与温度的变化关系如图 8 乙所示。闭合开关 S ,当热敏电阻 R_1 的温度等于 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,电流表示数 $I_1=2\text{ mA}$;当电流表的示数 $I_2=3.6\text{ mA}$ 时,热敏电阻 R_1 的温度是()。

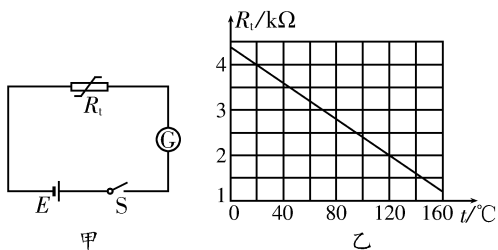


图 8

- A. $60\text{ }^\circ\text{C}$ B. $80\text{ }^\circ\text{C}$
C. $100\text{ }^\circ\text{C}$ D. $120\text{ }^\circ\text{C}$

2. 如图 9 所示,电源电动势为 E ,内阻为 r 。闭合开关 S ,当滑动变阻器的滑片 P 从右端滑到左端时,电压表 V_1 、 V_2 示数变化的绝对值分别为 ΔU_1 和 ΔU_2 ,下列说法中正确的是()。

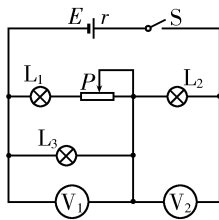


图 9

- A. 小灯泡 L_1 、 L_3 变暗, L_2 变亮
B. 小灯泡 L_2 、 L_3 变暗, L_1 变亮
C. $\Delta U_1 < \Delta U_2$
D. $\Delta U_1 > \Delta U_2$

3. 如图 10 所示,直线 I、II 分别是电源 1 与电源 2 的路端电压随输出电流变化的图像,曲线 III 是一个小灯泡的伏安特性曲线,如果把该小灯泡分别与电源 1、电源 2 单独连接,则下列说法中正确的是()。

- A. 电源 1 与电源 2 的内阻之比是 $11:7$
B. 电源 1 与电源 2 的电动势之比是 $1:1$
C. 在这两种连接状态下,小灯泡消耗的

电功率之比是 $1:2$

D. 在这两种连接状态下,小灯泡的电阻之比是 $1:2$

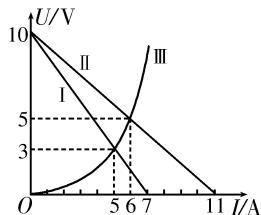


图 10

4. 如图 11 所示是某款电吹风的电路图,它主要由电动机 M 和电热丝 R 构成。闭合开关 S_1 、 S_2 后,电动机 M 驱动风叶旋转,将空气从进风口吸

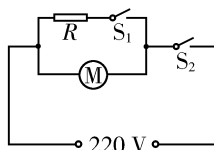


图 11

入,经电热丝 R 加热,形成热风后从出风口吹出。已知电吹风的额定电压为 220 V ,吹冷风时的功率为 120 W ,吹热风时的功率为 $1\text{ }000\text{ W}$ 。下列说法中正确的是()。

- A. 电热丝 R 的电阻为 $55\ \Omega$
B. 电动机 M 的电阻为 $\frac{1\ 210}{3}\ \Omega$

C. 当电吹风吹冷风时,电热丝 R 每秒消耗的电能 of 120 J

D. 当电吹风吹热风时,电动机 M 每秒消耗的电能 of 880 J

5. 阻值相等的四个电阻、电容器 C 及电池 E (内阻可忽略)连接成如图 12 所示的电路。开关 S 断开,且电流稳定时,电容器 C 所带的电荷量为 Q_1 ;闭合开关 S ,电流再次稳定后,电容器 C

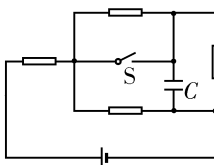


图 12

所带的电荷量为 Q_2 。则 $\frac{Q_1}{Q_2}$ 等于()。

- A. $\frac{2}{5}$ B. $\frac{1}{2}$
C. $\frac{3}{5}$ D. $\frac{2}{3}$

参考答案:1. D 2. D 3. ABC 4. A

5. C

(责任编辑 张 巧)

轨迹圆法与动量定理法解决带电粒子在磁场中运动问题的对比

■河南省开封高级中学 毛炜翔

利用轨迹圆法分析带电粒子在磁场中运动问题的一般步骤为：画轨迹、定圆心、求半径、结合题意或临界条件列辅助方程求解相关问题。利用轨迹圆法分析求解时对几何关系和数学运算能力的要求较高，解题过程相对复杂。若借助动量定理分析带电粒子在磁场中的运动问题，则对粒子运动轨迹的描绘、圆心的确定和半径的求解等的要求都不高，常常可以获得事半功倍的效果，给人另辟蹊径的感觉。

一、借助动量定理处理带电粒子在磁场中运动问题的理论分析

如图 1 所示，带正电粒子在垂直于纸面向里的匀强磁场中运动，速度大小为 v ，所受洛伦兹力 $f = qvB$ 。根据运动的分解可将速度 v 沿 x 轴、 y 轴分解为 v_x 和 v_y ，与两个分速度相对应的两个洛伦兹力分量分别为 $f_x = qBv_y$ （力的方向沿 x 轴，与 v_y 垂直）， $f_y = qBv_x$ （力的方向沿 y 轴，与 v_x 垂直），则沿 x 轴方向根据动量定理得 $-\sum f_x \cdot \Delta t = m\Delta v_x$ ，即 $-\sum qBv_y \cdot \Delta t = m\Delta v_x$ ，变形得 $-qBy = m\Delta v_x$ ，同理沿 y 轴方向有 $\sum f_y \cdot \Delta t = m\Delta v_y$ ，即 $\sum qBv_x \cdot \Delta t = m\Delta v_y$ ，变形得 $qBx = m\Delta v_y$ 。

观察上述表达式可以发现，带电粒子在磁场中运动的过程中，借助运动的分解和动量定理计算时，粒子在 x 轴方向上的动量变化与在 y 轴方向上的运动距离有关联；粒子在 y 轴方向上的动量变化与在 x 轴方向上的运动距离有关联。

二、利用轨迹圆法和动量定理法处理带电粒子在磁场中运动问题的对比

例 1 如图 2 所示，质量为 m ，带电荷量为 q 的粒子从直线边界上的 A 点射入磁感应强度为 B 的匀强磁场区域，速度大小为 v ，方向与边界线间的夹角为 θ ，并从同一边界线上的 B 点飞出，求 A 、 B 两点之间的距离。

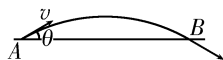


图 2

解法一：轨迹圆法。

根据带电粒子在单直线边界匀强磁场中运动的对称性可知，粒子飞出磁场时的速度大小不变，速度方向与边界线间的夹角仍为 θ ，运动轨迹如图 3 所示。设带电粒子在磁场中运动的轨迹半径为 r ，根据洛伦兹力提供向心力得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$ ，解得

$$r = \frac{mv}{qB}.$$

设 A 、 B 两点之间的距离为 d_{AB} ，根据几何关系得 $d_{AB} = 2r \sin \theta$ ，解得 $d_{AB} = \frac{2mv \sin \theta}{qB}$ 。

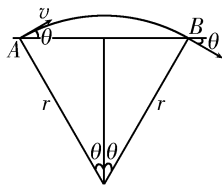


图 3

解法二：动量定理法。

根据带电粒子在单直线边界匀强磁场中运动的对称性可知，粒子飞出磁场时的速度大小不变，速度方向与边界线间的夹角仍为 θ ，运动轨迹如图 4 所示。设带电粒子入射点 A 和出射点 B 之间的距离为

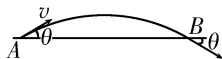


图 4

d_{AB} ，则其大小与垂直于

边界线方向的动量变化有关,根据动量定理得 $qBd_{AB} = 2mv\sin\theta$,解得 $d_{AB} = \frac{2mv\sin\theta}{qB}$ 。

点评:比较两种解法的解答过程可以发现,借助动量定理求解时,避开了复杂的作图和数学运算,但需要注意的是位移方向与动量变化方向两者之间的垂直关系。

例 2 如图 5 所示,真空中宽为 d 的区域内分布着匀强磁场,磁场方向垂直于纸面向里,质量为 m ,带电荷量为 $-q$ 的粒子以与边界 CD 成 θ 角的速度 v_0 垂直射入磁场中。要使粒子必能从边界 EF 上射出,则匀强磁场的磁感应强度应满足什么条件?

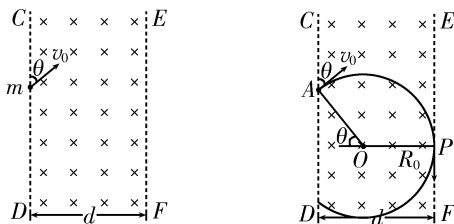


图 5

图 6

解法一:轨迹圆法。

粒子从入射点 A 进入磁场后在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动,要使粒子必能从边界 EF 上射出,则相应的临界轨迹必为过点 A 并与边界 EF 相切的圆弧,如图 6 所示,作出粒子在 A 、 P 两点时的速度的垂线相交于 O 点,则 O 点即为该临界轨迹的圆心。设临界轨迹圆的半径为 R_0 ,根据几何关系得 $R_0 + R_0 \cos\theta = d$,解得 $R_0 = \frac{d}{1 + \cos\theta}$ 。因此粒子必能从边界 EF 上射出的运动轨迹圆的半径 $R \geq R_0$,即 $R = \frac{mv_0}{qB} \geq \frac{d}{1 + \cos\theta}$,解得 $B \leq \frac{mv_0(1 + \cos\theta)}{qd}$ 。

解法二:动量定理法。

粒子从入射点 A 进入磁场后在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动,要使粒子必能从边界 EF 上射出,则相应的临界轨迹必为过点 A 并与边界 EF 相切的圆弧,粒子射出磁场时的速度方向沿边界 EF 向下,设粒子在垂直边界 EF 方向上的位移为 d ,其数值

大小与平行于边界 EF 的动量变化有关。以粒子的末速度方向为正方向,根据动量定理得 $qB_0 d = mv_0 - (-mv_0 \cos\theta)$,解得 $B_0 = \frac{mv_0(1 + \cos\theta)}{qd}$ 。要使粒子必能从边界 EF 上射出,则匀强磁场的磁感应强度 $B \leq \frac{mv_0(1 + \cos\theta)}{qd}$ 。

点评:利用动量定理求解此题时用到了运动的分解和动量定理公式,不需要画轨迹、定圆心、求半径,求解过程更加简捷。

例 3 (2020 年高考天津卷)如图 7 所示,在 xOy 平面的第一象限内存在方向垂直于纸面向里,磁感应强度为 B 的匀强磁场。一带电粒子从 y 轴上的 M 点射入磁场,速度方向与 y 轴正方向之间的夹角 $\theta = 45^\circ$ 。粒子经过磁场偏转后在 N 点(图中未画出)垂直穿过 x 轴。已知 $OM = a$,粒子的电荷量为 q ,质量为 m ,重力不计。则()。

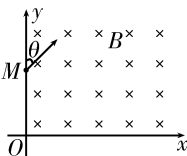


图 7

- A. 粒子带负电荷
- B. 粒子的速度大小为 $\frac{qBa}{m}$
- C. 粒子在磁场中运动的轨迹半径为 a
- D. N 点与 O 点相距 $(\sqrt{2} + 1)a$

解法一:轨迹圆法。

粒子向下偏转,受到的洛伦兹力斜向下,根据左手定则可知,粒子带负电荷,选项 A 正确。粒子的运动轨迹如图 8 所示,根据粒子的速度方向与 y 轴正方向之间的夹角 $\theta = 45^\circ$ 可知, $\angle OMO_1 = \angle OO_1M = 45^\circ$, $OM = OO_1 = a$,则粒子在磁场中运动的轨迹半径 $r = O_1M = \sqrt{2}a$,根据洛伦兹力提供向心力得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$,解得 $v = \frac{\sqrt{2}qBa}{m}$,选项 B、C 错误。根据几何关系得 N 点与 O 点之间的距离 $NO = OO_1 + r = (\sqrt{2} + 1)a$,选项 D 正确。

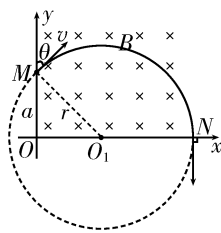


图 8

解法二：动量定理法。

粒子向下偏转，受到的洛伦兹力斜向下，根据左手定则可知，粒子带负电荷，选项 A 正确。根据题意可知，粒子运动的初、末状态如图 9 所示，粒子在磁场中

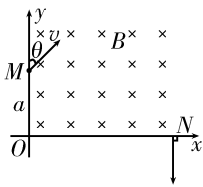


图 9

运动的过程中，沿 y 轴方向的位移大小为 a ，其大小与粒子在 x 轴方向上的动量变化有关。因为粒子在 N 点垂直穿过 x 轴，所以粒子沿水平方向的分速度由 $v \sin \theta$ 减小为 0，根据动量定理得 $-qBa =$

$0 - mv \sin \theta$ ，解得 $v = \frac{\sqrt{2}qBa}{m}$ ，则粒子在磁场

中运动的轨迹半径 $r = \frac{mv}{qB} = \sqrt{2}a$ ，选项 B、C

错误。同理，设 N 点与 O 点相距为 Δx ，其大小与粒子在 y 轴方向上的动量变化有关。设沿 y 轴向上为正方向，根据动量定理得 $-qB\Delta x = (-mv) - mv \cos \theta$ ，解得 $\Delta x = (\sqrt{2} + 1)a$ ，选项 D 正确。

答案：AD

点评：对比两种解法可以看出，巧妙运用动量定理求解带电粒子在磁场中运动相关问题时，更加关注的是粒子在初、末状态时的动量变化，以及相对应的距离。

例 4 如图 10 所示，真空中存在一宽度为 d ，磁感应强度为 B 的匀强磁场，磁场方向垂直于纸面向外，相互平行沿竖直方向的虚线 M 、 N 是磁场的左右边界线。 O 是边界线 M 上的一点，从 O 点平行

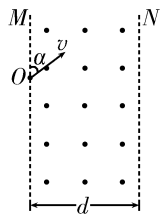


图 10

于纸面向磁场区域发射速率为 v 的某种带正电的粒子，粒子射入磁场时的速度方向与边界线 M 成 $\alpha = 53^\circ$ 角，粒子从边界线 N 上某点飞出磁场，速度方向与边界线 N 成 $\beta = 37^\circ$ 角(图中未画出)，不计粒子自身重力，已知 $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ 。

(1) 求粒子的比荷 $\frac{q}{m}$ 。

(2) 为了使得粒子不从边界线 N 上射

出，沿平行于纸面，水平向左的方向加上匀强电场，则该电场的场强需要满足什么条件？

解析：(1) 粒子穿越磁场的过程中，在水平方向上的位移为 d ，其大小与粒子在竖直方向上的动量变化有关。取竖直向下为正方向，根据动量定理得 $qBd = mv \cos \beta - (-mv \cos \alpha)$ ，解得 $\frac{q}{m} = \frac{7v}{5Bd}$ 。

(2) 若粒子不能从边界线 N 上射出，则临界条件为粒子的运动轨迹与边界线 N 相切。设粒子运动到边界线 N 上时的速度大小变为 v' ，粒子在叠加场中运动时只有静电力做功，根据动能定理得 $-qEd = \frac{1}{2}mv'^2 -$

$\frac{1}{2}mv^2$ 。因为粒子受到的静电力方向水平向左，对沿竖直方向的动量变化无影响，而粒子在叠加场中运动的过程中，沿竖直方向的动量变化大小与其在水平方向上的位移 d 有关，所以可以在竖直方向上列动量定理方程，取竖直向下为正方向，则 $qBd = mv' - (-mv \cos \alpha)$ ，解得 $v' = \frac{4v}{5}$ ， $E = \frac{9Bv}{70}$ 。

点评：施加电场以后，粒子的运动轨迹不再是圆周，无法使用画轨迹、定圆心、求半径的常规方法求解半径，无法进而求解粒子运动到边界线 N 上时的速度 v' 。借助动量定理，仅需考虑粒子沿竖直方向初、末状态的动量变化及沿水平方向的位移，便可轻松求得速度 v' ，使得题目的求解达到“柳暗花明又一村”的境界。

综上所述，借助动量定理解决带电粒子在磁场中的运动问题，避开了利用轨迹圆法处理相关问题时的“画轨迹、定圆心、求半径”等步骤，更加关注的是粒子在初、末状态时沿 x 轴和 y 轴的距离及与距离相对应的动量变化。当然，轨迹圆法是解决此类问题的常用方法，同学们应当牢牢掌握并能熟练运用。而利用动量定理处理带电粒子在磁场中的运动问题，给同学们提供了一种全新的解决问题的方法和技巧，可以开拓思维，提高解题能力，提升学科素养。

(责任编辑 张 巧)



浅析导体棒在磁场中的渐变运动



■ 河南省信阳市新县高级中学 付培军

导体棒在磁场中做切割磁感线运动时，回路中将产生感应电流，使得运动的导体棒受到一个变化的安培力作用，而做渐变运动，直至达到稳定状态。这类试题的难度相对较大，对考生思维能力的要求较高，同学们在复习备考过程中需要明确这类试题涉及的知识要点，厘清这类试题的常见考查方式，掌握这类试题的基本求解方法。下面举例分析，供同学们参考。

一、单棒的渐变运动问题的分析

单导体棒切割磁感线产生感应电流，属于力电综合问题，涉及导体棒的运动性质分析、受力情况分析、电路分析等知识要点。求解此类问题时需要综合应用法拉第电磁感应定律、楞次定律，以及平衡条件、牛顿第二定律、功能关系、串并联电路规律等物理规律。

例 1 如图 1 所示，两根足够长的光滑金属导轨 ab 、 cd 与水平面成 $\theta = 30^\circ$ 角固定，导轨间距 $L = 1 \text{ m}$ ，电阻不计。一个阻值为 R_0 的定值电阻与电阻箱并联后接在两金属导轨的上端。整个装置处于磁感应强度大小 $B = 1 \text{ T}$ ，方向垂直于导轨平面斜向上的匀强磁场中。现将一根质量为 m ，电阻可忽略不计的金属棒 MN 从图示位置由静止开始释放，金属棒 MN 在下滑过程中始终与导轨接触良好。改变电阻箱的阻值 R ，测定金属棒 MN 的最大速度 v_{\max} ，得到 $\frac{1}{v_{\max}} - \frac{1}{R}$ 图像如图 2 所示，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

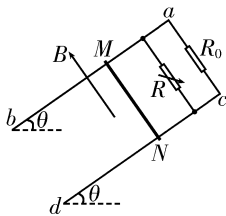


图 1

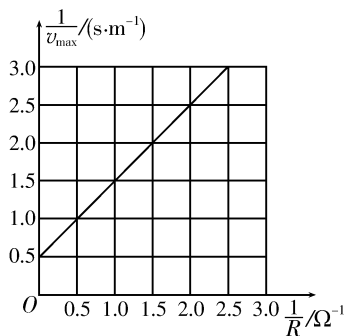


图 2

(1) 求金属棒 MN 的质量 m 和定值电阻 R_0 的阻值。

(2) 当电阻箱取阻值 $R = 2 \Omega$ ，且金属棒 MN 的加速度为 $\frac{g}{4}$ 时，求金属棒 MN 的速度大小 v 。

解析：(1) 金属棒 MN 以最大速度 v_{\max} 下滑时产生的感应电动势 $E = BLv_{\max}$ ，根据平衡条件得 $mg \sin \theta = BIL$ ，根据闭合电路欧姆定律得 $E = I \cdot \frac{RR_0}{R+R_0}$ ，整理得 $\frac{1}{v_{\max}} = \frac{B^2 L^2}{mg \sin \theta} \cdot \frac{1}{R} + \frac{B^2 L^2}{mg \sin \theta} \cdot \frac{1}{R_0}$ ，结合 $\frac{1}{v_{\max}} - \frac{1}{R}$ 图像得 $\frac{B^2 L^2}{mg \sin \theta} = 1$ ， $\frac{B^2 L^2}{mg \sin \theta} \cdot \frac{1}{R_0} = 0.5$ ，解得 $m = 0.2 \text{ kg}$ ， $R_0 = 2 \Omega$ 。

(2) 金属棒 MN 以速度 v 下滑时，根据法拉第电磁感应定律得 $E' = BLv$ ，根据闭合电路欧姆定律得 $E' = I' \cdot \frac{RR_0}{R+R_0}$ 。当金属棒 MN 以加速度 $\frac{g}{4}$ 运动时，根据牛顿第二定律得 $mg \sin \theta - BI'L = ma$ 。联立以上各式解得 $v = 0.5 \text{ m/s}$ 。

点评：解决单棒的渐变运动问题的关键是通过导体棒运动状态的分析，寻找临界状态，确定速度、加速度取最大值或最小值的

条件等。具体思路是：①先分析电路中产生感应电动势的电源，求出其参数 E 和 r ；②分析电路结构，弄清串、并联关系，求出电路中的电流大小，以便求解安培力；③分析研究对象（通常是金属棒、导体棒、线圈等）的受力情况，注意其所受的安培力；④根据力和运动的关系，判断出正确的运动模型，寻找到电磁感应过程中和研究对象在运动过程中的能量转化和守恒关系。

二、双棒的渐变运动问题的分析

1. 无外力的情形。

两根导体棒与导轨构成闭合回路处在磁场中，若导体棒具有一定的初速度，因做切割磁感线运动而在回路中产生感应电流，通过安培力调节两导体棒的运动，直至达到稳定状态。两根导体棒都做变加速运动，其中初动量较大的导体棒做加速度减小的减速运动，初动量较小的导体棒可能做加速度减小的加速运动，也可能先减速至停下，再反向做加速运动，直至达到稳定状态。若导轨等宽，则最终两导体棒将以相同的速度做匀速直线运动；若导轨不等宽，则两导体棒的最终运动状态需要具体问题具体分析。

例 2 如图 3 所示，足够长的光滑轨道 $CDEF$ 和 $PQMN$ 平行放置在水平地面上，轨道左侧的宽度为 $2L$ ，右侧的宽度为 L ，轨道的水平部分处在与水平面成 $\theta=37^\circ$ 角斜向左下方的匀强磁场中。金属杆 1、金属杆 2 与轨道构成一个回路，金属杆 1 的质量 $m_1=2m$ ，电阻 $R_1=2R$ ，金属杆 2 的质量 $m_2=m$ ，电阻 $R_2=R$ ，回路中其余电阻不计。现将金属杆 1 从轨道左侧 h 高处由静止开始释放，最后两金属杆都在水平轨道上运动，且金属杆 1 未越过 DQ 连线。已知重力加速度为 g ， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ ，则下列有关叙述中正确的是（ ）。

A. 金属杆 1 刚进入磁场时，回路中的电流为 $\frac{BL\sqrt{2gh}}{3R}$

B. 金属杆 2 刚开始运动时的加速度为 $\frac{6B^2L^2\sqrt{2gh}}{25mR}$

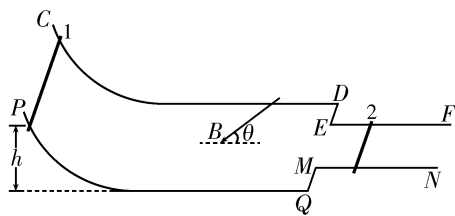


图 3

C. 金属杆 2 达到稳定状态时的速度为 $\frac{2\sqrt{2gh}}{3}$

D. 整个运动过程中通过金属杆 1 的电荷量为 $\frac{m\sqrt{2gh}}{BL}$

解析：金属杆 1 从轨道左侧 h 高处下滑到磁场边界处（恰好未进入轨道水平部分）的过程中，根据机械能守恒定律得 $m_1gh = \frac{1}{2}m_1v_0^2$ ，解得 $v_0 = \sqrt{2gh}$ 。金属杆 1 刚进入磁场做切割磁感线运动产生的感应电动势 $E = 2Lv_0 \cdot B \sin \theta$ ，回路中的电流 $I = \frac{E}{R_1 + R_2}$ ，解得 $I = \frac{2BL\sqrt{2gh}}{5R}$ ，选项 A 错误。金属杆 1 进入磁场的瞬间金属杆 2 就开始运动，根据牛顿第二定律得 $ILB \sin \theta = m_2a$ ，解得 $a = \frac{6B^2L^2\sqrt{2gh}}{25mR}$ ，选项 B 正确。金属杆 1 减速时金属杆 2 加速，稳定时回路中没有感应电流，此时金属杆 2 的速度是金属杆 1 的 2 倍。设稳定时金属杆 2 的速度为 v ，根据动量定理得 $m_1v_0 - m_1\frac{v}{2} = 2LiB\Delta t \sin \theta$ ， $m_2v - 0 = LiB\Delta t \sin \theta$ ，解得 $v = \frac{2\sqrt{2gh}}{3}$ ，选项 C 正确。整个运动过程中对金属杆 2 运用动量定理得 $iLB\Delta t \sin \theta = m_2\Delta v$ ，又有 $q = i\Delta t$ ， $\Delta v = v - 0$ ，解得 $q = \frac{10m\sqrt{2gh}}{9BL}$ ，选项 D 错误。

答案：BC

点评：双棒构成闭合回路，因受到安培力的影响双棒都做渐变运动，稳定时双棒不一定同速，但回路中的电流一定为零。分别对每一根导体棒运用动量定理，写出动量变化的一般表达式，再求和，往往可以求得双棒

的速度和通过导体棒某一横截面的电荷量等物理量。需要注意的是双棒所受安培力不一定满足安培力时刻等大反向,因此动量守恒定律不一定适用。

2. 有外力的情形。

两根导体棒与导轨构成闭合回路处在磁场中,若其中一根导体棒受到外力作用而做切割磁感线运动,使得回路中产生感应电流,则通过安培力调节两导体棒的运动,直至达到稳定状态时两导体棒都做匀加速运动;若两根导体棒都受外力作用,则先以两根导体棒组成的整体为研究对象进行受力分析,找出最终的稳定状态,再分析每一根导体棒在向最终的稳定状态渐变过程中的受力情况,写出动量定理的表达式,然后结合其他物理规律即可求解相关物理量。

例 3 如图 4 所示, U 形光滑金属框 $abcd$ 置于水平绝缘平台上, ba 、 cd 边足够长,金属框的电阻可以忽略不计。一根阻值为 R 的导体棒 PQ 置于金属框上,用水平恒力 F 向右拉动金属框。运动过程中装置始终处于竖直向上的匀强磁场中,导体棒 PQ 与金属框接触良好且与 ac 边保持平行。经过一段时间后,金属框和导体棒的 $v-t$ 图像应是图 5 中的()。

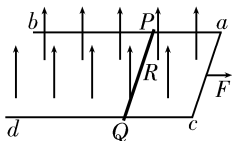


图 4

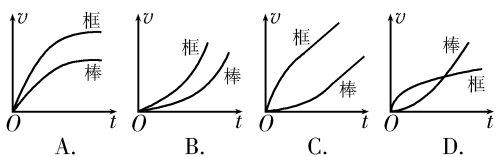


图 5

解析:用水平恒力 F 向右拉动金属框时, ac 边切割磁感线产生感应电动势对导体棒 PQ 供电,对金属框有 $F - iL B = M a_1$,对导体棒 PQ 有 $iL B = m a_2$,在安培力的影响下金属框做加速度逐渐减小的加速运动,导体棒 PQ 做加速度逐渐增大的加速运动。当金属框的速度为 v_1 ,导体棒 PQ 的速度为 v_2 时,回路中的电流 $i = \frac{Bl(v_1 - v_2)}{R}$ 。随着金属框

和导体棒速度的变化,当 $a_1 = a_2 = \frac{F}{M+m}$ 时,两者的速度差 Δv 恒定,回路中的感应电流不变,之后金属框和导体棒以相同的加速度做匀加速运动。因此金属框和导体棒的 $v-t$ 图像应是图 5 中的 C。

答案:C

点评:双棒构成闭合回路,导体棒受到外力作用,对系统整体而言,因有外力而具有加速度;对每一根导体棒而言,在外力和安培力的作用下做渐变运动。对每一根导体棒写出其动力学方程或动量定理的表达式,即可分析每一根导体棒加速度的变化规律,进而找到系统达到最终稳定状态时的速度和加速度的关系。

跟踪训练

1. 如图 6 所示,两根足够长的平行光滑金属轨道 MN 、 PQ 水平放置,轨道间距为 L 。现有一根质量为 m ,长度为 L 的导体棒 ab 垂直于轨道跨接其上,且与轨道始终接触良好,导体棒 ab 和轨道电阻均可忽略不计。有一个电动势为 E ,内阻为 r 的电源通过开关 S 连接到轨道左端,另有一个定值电阻 R 也连接在轨道上,且定值电阻 R 右侧分布着垂直于轨道平面的匀强磁场,磁感应强度为 B 。现闭合开关 S ,导体棒 ab 开始运动,则下列叙述中正确的有()。

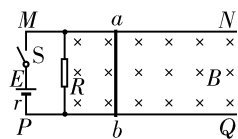


图 6

- A. 导体棒 ab 做加速度逐渐减小的加速运动,达到最大速度时导体棒 ab 中无电流
- B. 导体棒 ab 所能达到的最大速度为 $\frac{ER}{(R+r)BL}$
- C. 导体棒 ab 稳定运动时电源的输出功率恒定,其大小为 $\frac{E^2 R}{(R+r)B^2 L^2}$
- D. 导体棒 ab 稳定运动时电源的效率最

高,其大小为 $\frac{R}{R+r}$

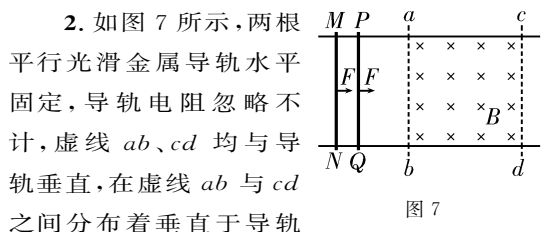


图 7

2. 如图 7 所示,两根平行光滑金属导轨水平固定,导轨电阻忽略不计,虚线 ab 、 cd 均与导轨垂直,在虚线 ab 与 cd 之间分布着垂直于导轨所在平面向下的匀强磁场。将两根相同的导体棒 PQ 、 MN 平行于虚线 ab 放置在导轨上,两导体棒始终与导轨垂直且接触良好。现对两导体棒施加相同的恒力 F ,使其先后自导轨上同一位置由静止开始运动。已知导体棒 PQ 进入磁场时的加速度恰好为零。从导体棒 PQ 进入磁场开始计时,到导体棒 MN 离开磁场为止,导体棒 PQ 的运动速度 v 、通过导体棒 PQ 的电流 I 随时间 t 变化的图像可能是图 8 中的()。

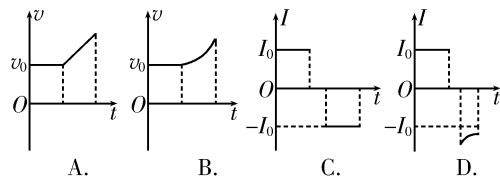


图 8

3. 如图 9 所示,足够长的光滑水平导轨(电阻不计)处在竖直向下的匀强磁场中,磁感应强度 $B=1\text{ T}$,导轨间距 $L=1\text{ m}$,在导轨的右端有两个弹性立柱,立柱与导轨垂直固定。质量 $m_2=1\text{ kg}$,电阻 $R_2=0.6\ \Omega$ 的导体棒 2 静置于导轨上,与立柱的间距 $x_1=1\text{ m}$,质量 $m_1=2\text{ kg}$,电阻 $R_1=0.4\ \Omega$ 的导体棒 1 也静置于导轨上。现让导体棒 1 以初速度 $v_0=5\text{ m/s}$ 向右运动,结果导体棒 1 向右滑行 $x_2=5\text{ m}$ 时导体棒 2 恰好撞到立柱。若两导体棒与导轨始终接触良好,所有碰撞均为弹性碰撞,则下列说法中正确的是()。

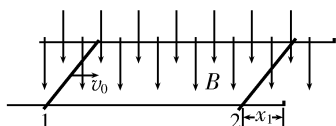


图 9

A. 导体棒 2 第一次撞击立柱前的速度

是 3 m/s

B. 导体棒 2 第一次撞击立柱时,导体棒 1 的速度是 3 m/s

C. 若导体棒 2 第一次撞击立柱后向左滑行的最大距离为 0.8 m ,则导体棒 1 在导体棒 2 向左滑行的过程中向右滑行了 3.2 m

D. 导体棒 2 不会与立柱发生第二次碰撞

4. 如图 10 所示,两根平行光滑金属导轨由 $\frac{1}{4}$ 圆弧部分 A_1B_1 、 A_2B_2 与水平部分 B_1C_1 、 B_2C_2 构成。导轨弧形部分的半径为 r ,导体棒长度与导轨间距均为 L ,导轨水平部分处于竖直向上的匀强磁场中,磁感应强度为 B 。弹性导体棒甲、乙分别垂直于导轨,静置于导轨圆弧顶端 A_1A_2 处和水平部分中某位置。两导体棒的质量均为 m ,电阻均为 R 。将导体棒甲从导轨圆弧顶端 A_1A_2 由静止释放,整个运动过程中两导体棒与导轨始终接触良好,导轨电阻不计,取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。

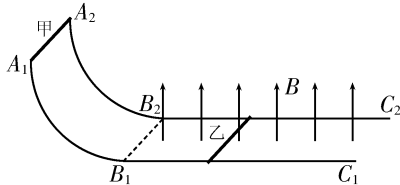


图 10

(1) 求导体棒甲刚进入导轨水平部分时,导体棒乙的加速度大小。

(2) 若两导体棒匀速运动前未发生碰撞,求两导体棒达到共速前通过回路的电荷量。

(3) 若初始时刻导体棒乙与 B_1B_2 连线间的距离 $\Delta x=2\text{ m}$,已知 $B=1\text{ T}$, $L=0.5\text{ m}$, $R=1\ \Omega$, $r=0.05\text{ m}$, $m=1\text{ kg}$ 。求最后共速时两导体棒的间距。

参考答案:1. AB 2. ACD 3. BC

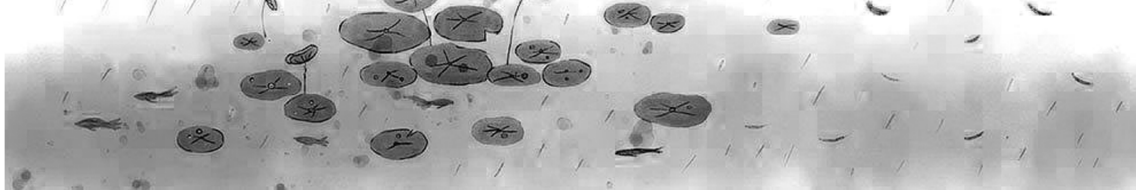
4. (1) $a = \frac{B^2 L^2 \sqrt{2gr}}{2mR}$; (2) $q = \frac{m \sqrt{2gr}}{2BL}$;

(3) $\Delta x' = 2\text{ m}$ 。

(责任编辑 张 巧)



磁悬浮列车相关问题赏析



■浙江省桐乡第一中学 李鑫

磁悬浮列车问题是相对独立的一类题型,探其源头,可以上溯到 2006 年全国中学生物理竞赛复赛的第 5 题。磁悬浮列车问题包含了相对运动、受力分析、能量计算、电机补偿等子问题,下面借助三道例题,将相关问题进行有序排列,由易到难,帮助同学们有效练习。

例 1 电磁驱动是现代产业中的重要技术。如图 1 所示是磁悬浮列车的电磁驱动模型:列车轨道沿 x 轴方向,轨道区域内固定一系列电阻 $r=0.5 \Omega$ 的独立线圈,每个线圈通以 $I_0=10 \text{ A}$ 的电流后将产生如图所示的磁场,磁感应强度大小均为 $B=1 \text{ T}$,相邻区域内的磁场方向相反。固定在列车底端的金属框 $abcd$ 可视为一矩形线圈,其电阻 $R=0.01 \Omega$, ab 边的长度为 l ,与磁场的宽度相同, bc 边的长度 $L=0.5 \text{ m}$,平行于 y 轴,金属框 ad 、 bc 两边总处于方向相反的磁场中。驱动列车时,固定在轨道上的独立线圈依次通电,等效于金属框所在区域的磁场以速度 $v_0=12 \text{ m/s}$ 匀速向 x 轴正方向移动,驱使列车前进,若列车所受阻力恒为 $f=200 \text{ N}$ 。(提示:当线圈与磁场存在相对速度 $v_{\text{相}}$ 时,动生电动势 $E=BLv_{\text{相}}$)求:

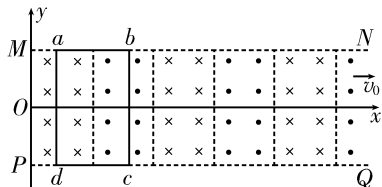


图 1

(1)列车启动时刻,金属框中感应电流的

方向和大小。

(2)列车所能达到的最大速率。

(3)当列车以恒定速率匀速行驶时,整个系统驱动列车的效率。

解析:(1)列车启动时刻,根据楞次定律可知,金属框中感应电流的方向为 $adcb$,金属框 ad 、 bc 两边切割磁感线产生的感应电动势 $E=2BLv_0$,金属框中的感应电流 $I=\frac{E}{R}$,解得 $I=1.2 \times 10^3 \text{ A}$ 。

(2)当列车达到最大速率时,有 $F_{\text{安}}=f$,其中 $F_{\text{安}}=2BIL$,又有 $I=\frac{2BLv_{\text{相}}}{R}$, $v_{\text{相}}=v_0-v_{\text{max}}$,解得 $v_{\text{max}}=10 \text{ m/s}$ 。

(3)当列车以恒定速率匀速行驶时,有 $P_{\text{动力}}=F_{\text{安}}v_{\text{max}}=fv_{\text{max}}$, $P_{\text{热}}=2I_0^2r+I^2R$, $\eta=\frac{P_{\text{动力}}}{P_{\text{动力}}+P_{\text{热}}}\times 100\%$,解得 $\eta=80\%$ 。

点评:求解(1)问时要注意金属框的左右两条边都在切割磁感线,两条边产生的感应电动势应该叠加。(2)问的第一个易错点是忽略金属框的左右两条边都将受到安培力的作用,即 $F_{\text{安}}=2BIL$;第二个易错点是忽略计算感应电动势时应代入磁场和金属框的相对速度,而不是磁场的速度或金属框的速度。(3)问是本题的亮点,要求考生充分思考列车在以恒定速率匀速行驶过程中的能量转化问题,不仅要清楚使得金属框运动起来的动力的功率,还要清楚回路中产生的热功率,明晰产生磁场需要外界供给电流,产生热损耗。

方法提纯:确定电源,识别电路,注意相对运动与感应电动势的关系;对切割磁感线

的导体进行受力分析时,注意受到安培力的导体的数量;依据动力学关系写出相应方程,注意达到稳定状态时的情况;计算功率时注意区分作用在金属框上安培力的功率、金属框的热功率、外界供给电流的热功率。

例 2 如图 2 甲所示,间距为 L 的足够长平行光滑金属导轨 MN 、 PQ 固定在同一水平面内,导轨左端接有阻值为 R 的定值电阻,质量为 m ,电阻为 r 的金属杆 ab 垂直跨接在导轨上,整个装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场方向竖直向下。沿水平方向施加外力 F (未知量)拉金属杆 ab ,使之由静止开始运动,电阻 R 两端的电压随时间变化的关系如图 2 乙所示, t_0 时刻对应的电压为 U_0 。已知金属杆 ab 在运动过程中受到的阻力为其对地速度的 k 倍,设金属杆 ab 在运动过程中始终处于磁场区域内,导轨电阻忽略不计。(提示:可以用 $F-t$ 图像下方的“面积”代表力 F 的冲量)求:

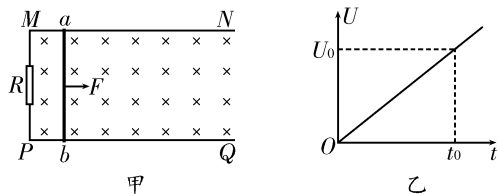


图 2

- (1) t_0 时刻,金属杆 ab 的速度。
- (2) $0 \sim t_0$ 时间内,外力 F 的冲量 I 。

(3) 若磁场有界,开始时金属杆 ab 静止在磁场区域的右边界处,如图 3 所示。现使磁场以速度 v_1 匀速向右移动,则当金属杆 ab 达到恒定速度时(此时金属杆 ab 处于磁场中),外界供给导轨、金属杆 ab 系统的功率多大?

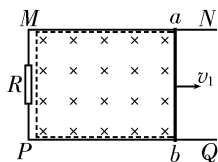


图 3

解析:(1) t_0 时刻,电阻 R 两端的电压为 U_0 ,设金属杆 ab 的速度为 v_0 ,则金属杆 ab 切割磁感线产生的感应电动势 $E =$

BLv_0 ,根据欧姆定律得 $U_0 = \frac{R}{R+r}E$,解得

$$v_0 = \frac{U_0(R+r)}{BLR}。$$

(2) 根据 $U-t$ 图像可知,电阻 R 两端的电压随时间呈线性变化,则 $U = \frac{U_0}{t_0}t$,即 $\frac{BLvR}{R+r} =$

$$\frac{U_0}{t_0}t, \text{解得 } v = \frac{U_0(R+r)}{BLRt_0}t, \text{因此金属杆 } ab \text{ 做}$$

匀加速直线运动,加速度 $a = \frac{U_0(R+r)}{BLRt_0}$ 。根据牛顿第二定律得 $F - f - F_{安} = ma$,又有

$$f = kv, F_{安} = \frac{B^2L^2v}{R+r}, v = at, \text{解得 } F = ma +$$

$$\left(ka + \frac{B^2L^2a}{R+r}\right)t, \text{因此 } 0 \sim t_0 \text{ 时间内,外力 } F$$

$$\text{的冲量 } I = \frac{U_0(R+r)}{BLR} \left[m + \frac{kt_0}{2} + \frac{B^2L^2at_0}{2(R+r)} \right]。$$

(3) 当金属杆 ab 受到的阻力等于安培力时,金属杆 ab 以恒定速度 v_2 做匀速运动,产生的感应电动势 $E = BL(v_1 - v_2)$,感应电流

$$I = \frac{E}{R+r}, \text{金属杆 } ab \text{ 受到的安培力 } F_{安} =$$

$$BIL, \text{根据平衡条件得 } kv_2 = \frac{B^2L^2(v_1 - v_2)}{R+r},$$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{B^2L^2v_1}{k(R+r) + B^2L^2}。 \text{系统消耗的功率}$$

包括金属杆 ab 的发热功率和克服阻力的功率,即 $P = I^2(R+r) + kv_2 \cdot v_2$,解得 $P =$

$$\frac{kB^2L^2v_1^2}{k(R+r) + B^2L^2}。$$

点评:(1)(2)两问属于匀变速运动问题,根据 $U-t$ 图像可以断定金属杆 ab 做匀加速直线运动。因为金属杆 ab 所受安培力和速度成正比,所以安培力和时间也成正比,为了保证金属杆 ab 所受外力为恒力,施加在金属杆 ab 上的拉力肯定和时间呈线性关系。(3)问属于磁悬浮列车问题,着重考查功率问题,且本题中不涉及外界供给电流问题,因此本题中的函数表达式虽然比例 1 中的复杂,但其物理过程比例 1 中的简洁。

例 3 科研人员为超高建筑物设计出了一种磁动力电梯,其工作原理是利用移动的磁场来带动电梯向上或向下运动,

可简化为如图 4 所示的模型: PQ 和 MN 是两根平行竖直轨道, 轨道间有垂直于轨道平面的等大反向的匀强磁场 B_1 和 B_2 , 磁感应强度大小 $B_1 = B_2 = B$, 两磁场可以向上运动。电梯轿厢固定在金属框 $abcd$ 内(轿厢未画出)。已知电梯载人时的总质量为 m , 运动时所受阻力为 f , 金属框 ab 、 cd 两

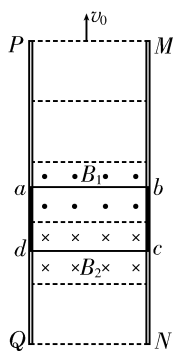


图 4

边的长度为 L , 两磁场的宽度均与金属框 bc 边的长度相同, 金属框的总电阻为 R , 重力加速度为 g 。

(1) 假设两磁场同时竖直向上以速度 v_0 做匀速直线运动来启动电梯, 设经过时间 t_1 电梯速度达到最大, 求电梯向上运行的最大速度 v_{\max} 和这一过程中电梯上升的距离 x 。

(2) 假如电梯达到最大速度 v_{\max} 后向上做匀速直线运动, 求经过时间 t_2 金属框中产生的焦耳热。

(3) 假设两磁场由静止开始向上做匀加速直线运动来启动电梯, 当两磁场运动的时间为 t_3 时, 电梯正以速度 v_1 向上做匀加速直线运动, 求两磁场开始运动后到电梯开始运动所需要的时间 t_4 。

解析: (1) 电梯达到最大速度 v_{\max} 时, 电梯所受合外力为零, 根据法拉第电磁感应定律可得, 金属框 ab 边切割磁感线产生的感应电动势 $E_1 = BL(v_0 - v_{\max})$, 金属框 cd 边切割磁感线产生的感应电动势 $E_2 = BL(v_0 - v_{\max})$, 金属框产生的总电动势 $E = E_1 + E_2 = 2BL(v_0 - v_{\max})$, 金属框中的感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{2BL(v_0 - v_{\max})}{R}$, 金属框受到的安培力 $F_{\text{安}} = 2BIL = \frac{4B^2L^2(v_0 - v_{\max})}{R}$, 根据平衡条件得 $F_{\text{安}} = mg + f$, 解得 $v_{\max} = v_0 - \frac{(mg + f)R}{4B^2L^2}$ 。根据动量定理得 $F_{\text{安}} t_1 - (mg + f)t_1 = mv_{\max}$, 即 $4B^2L^2x = 4B^2L^2v_0t_1 - (mg +$

$$f)Rt_1 - mv_0R + \frac{m(mg + f)R^2}{4B^2L^2}$$
, 解得 $x = v_0t_1 + \frac{m(mg + f)R^2}{16B^4L^4} - \frac{(mgt_1 + ft_1 + mv_0)R}{4B^2L^2}$ 。

(2) 电梯达到最大速度 v_{\max} 后向上做匀速直线运动, 根据法拉第电磁感应定律得 $E = 2BL(v_0 - v_{\max}) = \frac{(mg + f)R}{2BL}$, 则经过时间 t_2 金属框中产生的焦耳热 $Q = \frac{E^2}{R}t_2 = \frac{(mg + f)^2Rt_2}{4B^2L^2}$ 。

(3) 为实现电梯向上做匀加速直线运动, 其加速度必须与磁场由静止开始向上做匀加速直线运动的加速度相等, 设该加速度为 a , 在 t_3 时刻, 金属框产生的总感应电动势 $E = 2BL(at_3 - v_1)$, 金属框中的感应电流 $I = \frac{E}{R}$, 对电梯应用牛顿第二定律得 $\frac{4B^2L^2(at_3 - v_1)}{R} - mg - f = ma$, 解得 $a = \frac{4B^2L^2v_1 + mgR + fR}{4B^2L^2t_3 - mR}$ 。在电梯开始运动的瞬间, 金属框产生的总感应电动势 $E = 2BLat_4$, 金属框中的感应电流 $I = \frac{E}{R}$, 对电梯应用牛顿第二定律得 $\frac{4B^2L^2at_4}{R} - mg - f = 0$, 解得 $t_4 = \frac{R(mg + f)(4B^2L^2t_3 - mR)}{16B^4L^4v_1 + 4B^2L^2(mg + f)R}$ 。

点评: 本题是磁悬浮列车问题的进一步变形, 与前两个例题相比有三点变化。第一, 从水平方向上的运动换到了竖直方向上的运动, 分析金属框的受力情况时不要遗忘阻力和重力; 第二, 前两个例题中的磁场都是匀速运动, 而本题中的磁场可以做匀加速直线运动, 同学们需要认识到不管磁场是做匀速运动还是做匀变速运动, 磁悬浮列车问题关注的都是研究对象达到相对稳定状态时的情况, 在稳定状态下, 金属框做的是匀变速运动, 且金属框的加速度与磁场的加速度相同; 第三, 本题融入了动量定理的应用, 需要应用动量定理和累积思想去求解位移。

(责任编辑 张 巧)

高三一轮复习检测题(选修 3—1、3—2)A 卷参考答案与提示

1. D 提示:在 $z > 0$ 的空间里,点电荷 $+q$ 和无穷大导体表面上感应电荷共同激发的电场与分别在 $z = h$ 处、 $z = -h$ 处的等量异种点电荷产生的电场(如图 1 所示)是等效的。这样,

求 $z = \frac{h}{2}$ 处的场强就转化为

求等量异种点电荷在 $z = \frac{h}{2}$

处产生的场强,即 $E =$

$$k \frac{q}{\left(\frac{h}{2}\right)^2} + k \frac{q}{\left(\frac{3h}{2}\right)^2} = \frac{40kq}{9h^2}.$$

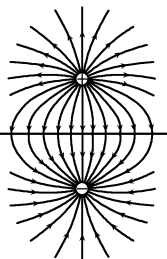


图 1

2. D 提示:根据 $\varphi-x$ 图像可知,在 $0 \sim r_0$ 内电势不变,在 $r_0 \sim +\infty$ 内电势变小。根据带电金属球为一等势体,以及沿着电场线方向电势降低,易知金属球带正电,选项 A 错误。根据 $\varphi-x$ 图像的斜率表示场强大小可知,A 点的电场强度等于 0,C 点的电场强度大于 0,选项 B 错误。从 B 点到 C 点若为匀强电场,则电场强度大小 $E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{x_3 - x_2}$,因为从 B 点到 C 点实质上是非匀强电场,所以 B 点的电场强度大于该值,选项 C 错误。将带电荷量为 $-q$ 的点电荷沿直线从 B 点移动到 C 点的过程中,静电力做负功,电势能增加,电势能的增加量为 $|q(\varphi_2 - \varphi_3)|$,选项 D 正确。

3. C

4. D 提示:原线圈所在回路中电阻 R_1

消耗的电功率 $P_1 = I_1^2 R_1 =$

$$\left(\frac{n_2}{n_1} I_2\right)^2 R_1 = I_2^2 \frac{R_1}{k^2}, \text{ 所以}$$

等效电路如图 2 所示, $\frac{R_1}{k^2}$

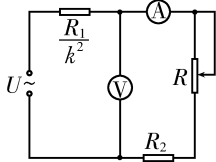


图 2

等效为电源内阻,电源电动势为 U ,外电路电阻为 $(R_2 + R)$,根据欧姆定律得 $\frac{\Delta U}{\Delta I} = r = \frac{R_1}{k^2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 R_1$ 。

5. C 提示:粒子在加速电场中运动时,根据动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv^2$,粒子在磁场中

做匀速圆周运动时,根据洛伦兹力提供向心力得 $qvB = m \frac{v^2}{R}$,解得 $\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$,因此氢的两种同位素由静止开始经加速电场射入磁场,打到 A_1 位置的粒子的轨迹半径较大,比荷较小,选项 A 错误。粒子能够沿直线匀速通过速度选择器,则 $qE = qvB$,解得 $v = \frac{E}{B}$,选项 B 错误。根据左手定则可知,正离子向下偏转,即下极板带正电,A 板是电源的负极,B 板是电源的正极,A 板的电势较低,选项 C 正确。若载流子带负电,根据左手定则可知,负粒子向 C 板偏转,因此稳定时 C 板电势较低,选项 D 错误。

6. C 提示:开关 S 接通后,因为电容器 C_2 对变化电流的阻抗远小于线圈 L 对变化电流的阻抗,所以首先是电容器 C_1 对电容器 C_2 充电,电荷重新分配,待充电结束后,再通过线圈 L 放电,而在整个回路中形成振荡电流。开关 S 接通前,电容器 C_1 的带电荷量 $Q = CU$;开关 S 接通后,电容器 C_1 对电容器 C_2 充电,电荷重新分配,充电结束时,每个电容器上分得的电荷量均为 $Q' = \frac{Q}{2}$,两个并联

电容器贮存的电能 $E = 2 \times \frac{1}{2} \times \frac{Q'^2}{C} = \frac{1}{4}CU^2$ 。两个电容器完全放电后,它们贮存的电能完全转化为线圈中的磁场能,此时线圈中的电流最大,根据能量守恒定律得 $E = \frac{1}{2}LI_{\max}^2 = \frac{1}{4}CU^2$,解得 $I_{\max} = U\sqrt{\frac{C}{2L}}$ 。

7. BD 提示:设带电粒子进入偏转电场时的初速度为 v_0 ,则 $qU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $v_0 = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$ 。粒子在偏转电场中的运动时间 $t = \frac{L}{v_0}$,粒子在偏转电场中的加速度 $a = \frac{qU_2}{md}$,粒子离开电场时垂直于初速度方向的分速度

$v_y = at = \frac{qU_2 L}{mdv_0}$, 设粒子离开电场时的偏转角为 φ , 则 $\tan \varphi = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qU_2 L}{mdv_0^2} = \frac{U_2 L}{2U_1 d}$, 可见, 偏转角 φ 随偏转电场电势差 U_2 , 金属板长 L 的增大而增大, 随加速电场电势差 U_1 的增大而减小, 与粒子的电荷量 q 无关。

8. AD 提示: 设从 A 点射入的粒子与磁场边界的最远交点为 B, 则 B 点是轨迹圆的直径与磁场边界的交点, \widehat{AB} 的长是磁场边界周长的 $\frac{1}{3}$, 如图 3 所示, 则 $\angle AOB = 120^\circ$,

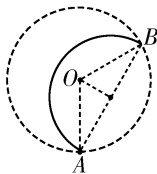


图 3

$\sin 60^\circ = \frac{r}{R}$, 解得 $r = \frac{\sqrt{3}R}{2}$, 选项 C 错误。粒子在磁场中运动时, 洛伦兹力提供向心力, 则 $qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r}$, 解得 $B = \frac{2\sqrt{3}mv_0}{3qR}$, 选项 A 正确, B 错误。粒子在磁场中运动的最长时间 $t_{\max} = T = \frac{2\pi r}{v_0} = \frac{\sqrt{3}\pi R}{v_0}$, 选项 D 正确。

9. BCD 提示: 根据左手定则可知, 正离子向上偏转, 因此上极板带正电, 下极板带负电。因为玻璃皿中心的圆柱形电极接电源的负极, 边缘的圆环形电极接电源的正极, 在电源外部电流由正极流向负极, 所以玻璃皿中的电流由边缘流向中心, 选项 A 错误。玻璃皿所在处的磁场竖直向上, 根据左手定则可知, 导电液体受到的磁场力沿逆时针方向(由上往下看), 因此液体沿逆时针方向旋转, 选项 B 正确。当等离子体受到的静电力与洛伦兹力相等时, 两极板间的电压保持不变, 则 $qvB = q \frac{U}{d}$, 解得 $U = 5 \text{ V}$ 。根据闭合电路欧姆定律得 $U - U_{AB} = I(r + R_0)$, 解得 $I = 1 \text{ A}$, 选项 C 正确。根据电功率公式得电阻 R_0 的电功率 $P = I^2 R_0 = 2 \text{ W}$, 选项 D 正确。

10. AD 提示: 线框切割磁感线产生的感应电动势的大小 $E = BLv = 0.8 \text{ V}$, 选项 A 正确。线框在穿越磁场区域的过程中做匀速运动, 所受拉力等于安培力, 即 $F = F_{\text{安}} = BIL$, 根据闭合电路欧姆定律得 $I = \frac{E}{R}$, 解得

$F = 0.8 \text{ N}$, 选项 B 错误。线框穿越磁场区域所用的时间 $t = \frac{2L}{v} = 0.05 \text{ s}$, 线框在穿越磁场区域的过程中产生的热量 $Q = I^2 R t = 0.32 \text{ J}$, 选项 C 错误, D 正确。

11. (1) 15 1.700 (2) 如图 4 所示 A_1 R_1 (3) $\frac{k\pi D^2}{2L}$

提示: (2) 电路中的最大电流约为 $I = \frac{U}{R_x} = \frac{6}{15} \text{ A} =$

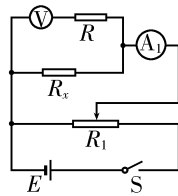


图 4

0.4 A, 因此电流表应选择

A_1 ; 为了方便操作, 滑动变阻器应选择 R_1 ; 电源电动势为 6 V, 电压表量程为 0~3 V, 把电压表与定值电阻 R 串联可以改装成量程为 0~6 V 的电压表测电压; 因为电压表内阻已知, 可以求出通过电压表的电流, 所以电流表应采用外接法, 滑动变阻器应采用分压式接法。(3) 改装后电压表量程为原电压表量程的 2 倍, 电压表示数为 U 时, 待测电线两端电压为 $2U$, 根据欧姆定律得 $2U = IR_x$, 整理得 $U = \frac{IR_x}{2}$, 因此 $U-I$ 图像的斜率 $k = \frac{R_x}{2}$, 则

$$R_x = 2k. \text{ 根据电阻定律得 } R_x = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{L}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}, \text{ 解得 } \rho = \frac{k\pi D^2}{2L}.$$

12. (1) 带负电的液滴受到向左的静电力和竖直向下的重力, 其运动是竖直方向上的竖直上抛运动和水平方向上的匀减速运动的合运动, 并且液滴运动到最高点 P 时的速度水平向左。设液滴从原点 O 运动到最高点 P , 重力和静电力做功分别为 $W_{\text{重}}$ 、 $W_{\text{电}}$, 根据动能定理得 $W_{\text{重}} + W_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = 0$ 。因为重力做负功, 所以静电力一定做正功。因此最高点 P 一定在原点 O 的左上方。(2) 设液滴从原点 O 运动到最高点 P 所用的时间为 t , 在竖直方向上有 $v_0 \sin \theta - gt = 0$, 在水平方向上有 $-v_0 = v_0 \cos \theta - \frac{qE}{m}t$, 解得 $E = \frac{mg(1 + \cos \theta)}{q \sin \theta}$ 。设原点 O 与最高点 P 之间

的竖直高度为 h , 则 $0 - (v_0 \sin \theta)^2 = 2(-g)h$, 根据动能定理得 $qU - mgh = 0$, 解得 $U = \frac{mv_0^2 \sin^2 \theta}{2q}$.

13. (1) 粒子在 A、B 两板间运动时, 在水平方向上不受外力作用而做匀速运动, 因此粒子到达 O_1' 孔时的速度即为进入 A、B 两板间的初速度 v_0 。粒子在 C、D 两板间运动, 刚好能够到达 O_2 孔, 根据动能定理得 $qU_2 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{\frac{2qU_2}{m}}$ 。(2) 粒子进入 A、B 两板间后, 在一个周期 T 内, 在竖直方向上的分速度变为初始状态, 即 $v_{\text{竖}} = 0$ 。若粒子在第一个周期末进入 O_1' 孔, 则对应 A、B 两板的长度最短, 且最短长度 $L_{\min} = v_0 T = T \sqrt{\frac{2qU_2}{m}}$ 。(3) 若粒子在 $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内刚好打不到 A 板而返回, 则对应 A、B 两板间距最小, 且最小间距 d_{\min} 满足 $\frac{d_{\min}}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{qU_1}{md} \left(\frac{T}{4}\right)^2 \times 2$, 解得 $d_{\min} = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{qU_1}{2m}}$ 。

14. (1) 金属杆转至竖直位置时, 根据电路对称性可知, 两金属球所在位置的电势相等, 金属环左半部分中无电流, 等效电路如图 5 所示。根据法拉第电磁感

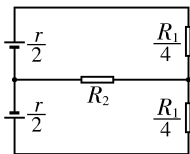


图 5

应定律得 $E = \frac{1}{2} B \omega \left(\frac{l}{2}\right)^2$, 又有电路总电阻

$$R_{\text{总}} = \frac{\frac{r}{2} + \frac{R_1}{4}}{2} + R_2, \text{ 回路中电流的瞬时功率}$$

$$P = \frac{E^2}{R_{\text{总}}}, \text{ 解得 } P = \frac{B^2 \omega^2 L^4}{8(2r + R_1 + 8R_2)}.$$

(2) 金属杆从水平位置转至竖直位置的过程中, 重力势能的减少量为 $(M - m)g \cdot \frac{l}{2}$, 这部分能量一部分转化为两金属球的动能, 另一部分通过电磁感应转化为内能, 以热量的形式释放出来, 则 $Q = (M - m)g \cdot \frac{l}{2} - \frac{1}{2} M v^2 -$

$$\frac{1}{2} m v^2, \text{ 又有 } Q = \frac{E_{\text{有}}^2}{R_{\text{总}}} t, \text{ 解得 } E_{\text{有}} =$$

$$\sqrt{\frac{l[4(M - m)g - (M + m)\omega^2 l](2r + R_1 + 8R_2)}{64t}}.$$

15. (1) 设从 A 点射出的粒子, 由 A 点运动到 A' 点所用的时间为 T , 根据对称性可知, 在 x 轴方向上有 $2l_0 = v_0 T$, 在 y 轴方向上有 $2l_0 = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m} \left(\frac{T}{2}\right)^2 \times 2$, 解得 $E = \frac{2mv_0^2}{ql_0}$ 。

(2) 设到 C 点距离为 Δy 处射出的粒子通过电场后也能沿 x 轴正方向运动, 粒子第一次到达 x 轴用时为 Δt , 水平位移为 Δx , 则 $\Delta x = v_0 \Delta t$, $\Delta y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} (\Delta t)^2$, 若满足 $2l_0 = n \cdot 2\Delta x (n = 1, 2, 3, \dots)$, 则粒子从电场射出时的速度方向也将沿 x 轴正方向, 解得 $\Delta y = \frac{1}{n^2} l_0 (n = 1, 2, 3, \dots)$, 即 A、C 两点间纵坐标为 $y = -\frac{1}{n^2} l_0 (n = 1, 2, 3, \dots)$ 的粒子通过电

场后也能沿 x 轴正方向运动。(3) 当 $n = 1$ 时, 粒子射出电场时的位置坐标为 $y_1 = l_0$; 当 $n = 2$ 时, 粒子射出电场时的位置坐标为 $y_2 = -\frac{1}{4} l_0$; 当 $n \geq 3$ 时, 沿 x 轴正方向射出的粒子分布在 y_1 到 y_2 之间(如图 6 所示), 纵坐标分别为 y_1 和 y_2 的两位置之间的距离 $L = y_1 - y_2 = \frac{5}{4} l_0$, 则磁场圆 O_1 的最小半径 $R = \frac{L}{2} = \frac{5l_0}{8}$ 。若使粒子经磁场偏转后会聚于一点, 粒子的运动轨迹半径与磁场圆的半径相等, 则轨迹圆 O_2 与磁场圆 O_1 相交于 Q 点,

根据洛伦兹力提供向心力得 $qv_0 B = \frac{mv_0^2}{R}$, 解得 $B = \frac{8mv_0}{5ql_0}$ 。

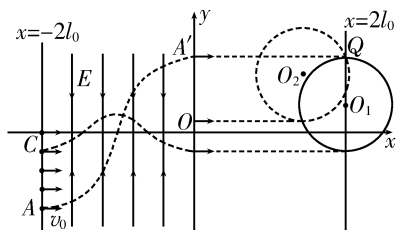


图 6

(责任编辑 张 巧)

高三一轮复习检测题(选修 3—1、3—2)B 卷参考答案与提示

1. B 提示:假设质点由 Q 点向 P 点运动,作出轨迹上某点的速度和静电力,如图 1 所示。因为静电力和速度的夹角为钝角,所以静电力做负功,电势能增大,动能减小,选项 B 正确, C 错误。因为带负电的质点在 P 点时的电势

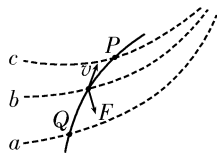


图 1

能较大,所以 P 点电势较低,即三个等势面中, c 的电势最低,选项 A 错误。因为 P 点的电场线比 Q 点的密集,所以质点在 P 点受到的静电力较大,产生的加速度较大,选项 D 错误。假设质点由 P 点向 Q 点运动,可得出同样的结论。

2. D

3. A 提示:当 $I_1 = I_2 = I_3$ 时,令 $B_1 = B_2 = B_3 = B_0$,根据安培定则画出 I_1 、 I_2 、 I_3 在 O 点产生的磁感应强度示意图,如图 2 甲所示,根据矢量叠加原理可知,此时 O 点的磁感应强度大小 B 与 B_0 满足关系式 $B_0 = \frac{B}{2}$ 。当 $I_1 = 3I$, $I_2 = I_3 = I$ 时, $B_1 = 3B_0$, $B_2 = B_3 = B_0$,同理作出 O 点的磁感应强度示意图,如图 2 乙所示,则 O 点的磁感应强度大小为 $4B_0 = 2B$,选项 A 正确, B 错误。当 $I_2 = 3I$, $I_1 = I_3 = I$ 时, $B_1 = B_3 = B_0$, $B_2 = 3B_0$,则 O 点的磁感应强度示意图如图 2 丙所示, O 点的磁感应强度大小为 $3B_0 = \frac{3}{2}B$,同理可得,当 $I_3 = 3I$, $I_1 = I_2 = I$ 时, O 点的磁感应强度大小也为 $\frac{3}{2}B$,选项 C、D 错误。

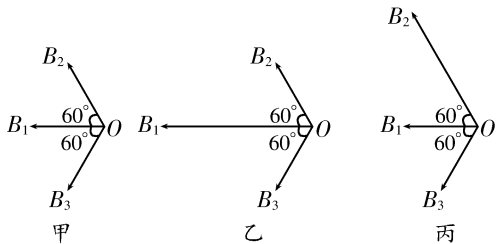


图 2

4. B 提示:粒子在加速电场中运动时,根据动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,粒子在磁场中做匀速圆周运动,根据洛伦兹力提供向心力得 $qvB = m\frac{v^2}{r}$,解得 $B = \frac{1}{r}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$ 。因此质子和 α 粒子分别在磁场中偏转时,磁场

$$\frac{B_\alpha}{B_H} = \frac{\frac{1}{r}\sqrt{\frac{2 \times 4mU}{2e}}}{\frac{1}{r}\sqrt{\frac{2mU}{e}}} = \frac{\sqrt{2}}{1}$$

即需将磁场的磁感应强度大小变为 $\sqrt{2}B$ 。

5. C 提示:题图所示位置线圈与磁场方向平行,穿过线圈的磁通量为零,选项 A 错误。线圈绕转轴 OO' 转动的角速度 $\omega = 2\pi n$,线圈转动产生的感应电动势的最大值 $E_{\max} = NBS\omega = NBL^2 \cdot 2\pi n = 2\pi NBL^2 n$,选项 B 错误。交流发电机产生的感应电动势的有效值 $E_{\text{有}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\pi NBL^2 n$,则电流表的示数

$$I = \frac{E_{\text{有}}}{R+r} = \frac{\sqrt{2}\pi NBL^2 n}{R+r}$$

电压表的示数 $U = IR = \frac{\sqrt{2}\pi NBL^2 nR}{R+r}$,选项 C 正确, D 错误。

6. C 提示:线框 bc 边的位置坐标 x 由 L 到 $2L$ 的过程中,线框 bc 边的有效切割长度 $l = x - L$,产生的感应电动势 $E = Blv = B(x - L)v$,感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{B(x - L)v}{R}$,电流逐渐增大;根据楞次定律可以判断出感应电流的方向为 $abcd$,为正值。线框 bc 边的位置坐标 x 由 $2L$ 到 $3L$ 的过程中,根据楞次定律可以判断出感应电流的方向为 $adcb$,为负值;线框 ad 边的有效切割长度 $l = x - 2L$,产生的感应电动势 $E = Blv = B(x - 2L)v$,感应电流 $I = -\frac{E}{R} = -\frac{B(x - 2L)v}{R}$,电流的大小逐渐增大。

7. AD 提示:电子在静电场中运动,根据动能定理得 $eE \cdot \Delta x = \Delta E_p$,则 $E_p - x$ 图像

的斜率 $k = \frac{\Delta E_p}{\Delta x} = eE$, 斜率 k 越大, 电场强度 E 越大, 因此 x_1 处的电场强度比 x_3 处的大, 选项 A 正确。 E_p-x 图像中 x_2 处的斜率为零, 则电场强度为零, 最小; 根据 $E_p = q\varphi$ 可知, 负电荷在电势低的地方电势能大, 因此 x_2 处的电势最小, 选项 B 错误。 当 $x > x_2$ 时电子的电势能逐渐减小, 说明静电力对电子做正功, 则电场线方向沿 x 轴负方向, 选项 C 错误。 电子在电场中运动时只有静电力做功, 则 $E_p + E_k = \text{定值}$, 因为电子在 $x=0$ 处的电势能小于在 x_3 处的电势能, 所以电子在 $x=0$ 处的动能大于在 x_3 处的动能, 在 $x=0$ 处的速度大于在 x_3 处的速度, 选项 D 正确。

8. BC 提示: 当电路中的电流 $I = 3 \text{ A}$ 时, 该体重计测量的体重最大, 根据欧姆定律得 $I = \frac{E}{R+r}$, 变形得 $R = \frac{E}{I} - r$, 即 $R = 2 \ \Omega$, 代入 $R = 30 - 0.02F$, 解得 $F = 1\ 400 \text{ N}$, 选项 A 错误, B 正确。 踏板空载时 $F = 0$, 代入 $R = 30 - 0.02F$, 解得 $R = 30 \ \Omega$, 根据欧姆定律得 $I = \frac{E}{R+r} = 0.375 \text{ A}$, 因此该体重计的零刻度线(踏板空载时的刻度线)应标在电流表 G 刻度盘的 0.375 A 处, 选项 C 正确, D 错误。

9. BC 提示: 磁场以速度 v 匀速向右移动, 线框相对磁场向左运动, 根据右手定则可知, 图示时刻线框中的感应电流沿顺时针方向, 选项 A 错误。 根据左手定则可知, 列车所受的安培力方向向右, 因此列车行驶的方向与磁场移动的方向相同, 选项 B 正确。 当列车速度为 v' 时, 列车相对磁场的速度大小为 $v-v'$, 则感应电动势 $E = 2NBL(v-v')$, 感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{2NBL(v-v')}{R}$, 线框受到的安培力 $F = 2NBIL = \frac{4N^2B^2L^2(v-v')}{R}$, 选项 C 正确, D 错误。

10. BD 提示: 当开关 S 闭合时, 原线圈中的电流 $I_1 = 2I + 2I = 4I$, 副线圈中的电流 $I_2 = I + I = 2I$, 根据原、副线圈的匝数和电流成反比得 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{2}$, 选项 B 正确。 根据原、

副线圈的匝数和电压成正比得 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2}$,

其中 $U_2 = U$, 则 $U_1 = \frac{1}{2}U$, a, b 两端的电压 $U_{ab} = 2U + \frac{1}{2}U = \frac{5}{2}U$, 选项 A 错误。 当开关 S 断开时, 副线圈中的电流减小, 则原线圈中的电流也减小, 灯泡 L_1 和 L_2 并联部分的电压减小, 灯泡 L_1, L_2 都变暗, a, b 两端的电压不变, 则原线圈两端的电压增大, 副线圈两端的电压也增大, 电压表的示数增大, 选项 C 错误, D 正确。

11. (1) D (2) 乙 (3) 如图 3 所示
 (4) 1.73 2.03

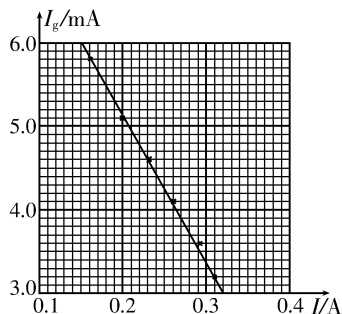


图 3

提示: (1) 根据欧姆定律得 $R_0 = \frac{U - I_g R_g}{I_g} = \frac{2 - 10 \times 10^{-3} \times 100}{10 \times 10^{-3}} \ \Omega = 100 \ \Omega$, 因为电阻箱 R_0 的精确度为 $0.1 \ \Omega$, 所以选项 D 正确。 (4) 根据闭合电路欧姆定律得 $E = I_g(R_g + R_0) + I(r + R_A)$, 整理得 $I_g = \frac{E}{R_g + R_0} - \frac{(r + R_A)I}{R_g + R_0}$, 即 I_g-I 图像为斜率为负的倾斜直线, 图像斜率大小 $k = \frac{r + R_A}{R_g + R_0} = \frac{3 \times 10^{-3}}{0.32 - 0.15}$, 解得 $r = 2.03 \ \Omega$ 。 将 $I_g = 3.0 \text{ mA}$, $I = 0.32 \text{ A}$ 代入 $I_g = \frac{E}{R_g + R_0} - \frac{(r + R_A)I}{R_g + R_0}$, 解得 $E = 1.73 \text{ V}$ 。

12. (1) 在小球从 A 点运动到 B 点的过程中, 根据动能定理得 $(mg + qE)L = \frac{1}{2}mv_B^2$, 解得小球运动到 B 点时的速度大小

$v_B = \sqrt{\frac{2(mg+qE)L}{m}}$ 。当小球运动到 B 点时,根据牛顿第二定律得 $F - (mg + qE) = m \frac{v_B^2}{L}$,解得轻绳的拉力 $F = 3(mg + qE)$,即轻绳的最大张力为 $3(mg + qE)$ 。(2)小球离开 B 点后做类平抛运动,到达 C 点时小球垂直打在挡板上,则小球运动到 C 点时的速度大小 $v_C = \frac{v_B}{\sin \theta} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\frac{2(mg+qE)L}{m}}$ 。

(3)在小球从 A 点运动到 C 点的过程中,根据动能定理得 $qU_{AC} + mgh_{AC} = \frac{1}{2}mv_C^2$,又有 $U_{AC} = Eh_{AC}$,解得 $U_{AC} = \frac{EL}{\sin^2 \theta}$ 。

13. 粒子带正电,根据左手定则可知,粒子在磁场中沿顺时针方向做匀速圆周运动,粒子受到的洛伦兹力提供向心力,则 $qv_0B = m \frac{v_0^2}{r}$,解得 $r = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$ 。粒子的临界运动轨迹如图 4 所示,根据几何关系得 $x_A = \sqrt{(2r)^2 - y_P^2}$, $x_B = \sqrt{r^2 - (y_P - r)^2}$,解得 $x_A = 12 \text{ cm}$, $x_B = 8 \text{ cm}$ 。因此 x 轴上有粒子穿过的坐标范围是 $-8 \text{ cm} \leq x \leq 12 \text{ cm}$ 。

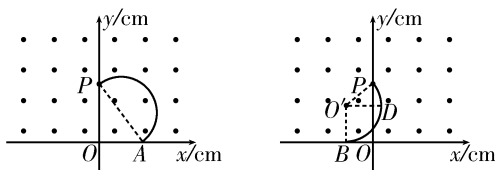


图 4

14. (1)当金属杆 ab 做匀速运动时,根据平衡条件得 $F = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha + F_{安}$,其中 $F_{安} = BIL = B \frac{BLv}{R+r}L$, $v = 1.0 \text{ m/s}^2$,解得 $F = 5.8 \text{ N}$ 。当金属杆 ab 的速度为 0.4 m/s 时,有 $F_{安1} = BI_1L = B \frac{BLv_1}{R+r}L = 0.8 \text{ N}$ 。根据牛顿第二定律得 $F - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha - F_{安1} = ma$,解得 $a = 2.4 \text{ m/s}^2$ 。(2)在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 时间内,根据动量定理得 $(F - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha - B\bar{I}_2L)t = mv_2 - 0$,其中 $q = \bar{I}_2t$, $v_2 = 0.6 \text{ m/s}$,解得 $q =$

0.85 C 。(3)从金属杆 ab 开始运动到它刚好达到稳定状态的过程中,根据动能定理得 $(F - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha)s + W_{安} = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,又有 $Q = |W_{安}|$, $Q_{耗} = \frac{r}{R+r}Q$,解得 $Q_{耗} = 1.8375 \text{ J}$ 。

15. (1)将速度 v_0 沿 x 轴和 y 轴分解得 $v_x = v_0 \sin \alpha = \frac{v_0}{2}$, $v_y = v_0 \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0$,粒子在电场中做类平抛运动,即在水平方向上做匀速直线运动,在竖直方向上做匀加速直线运动,则 $3R = v_x t$, $v_y = \frac{qE}{m}t$,联立以上各式解得 $E = \frac{\sqrt{3}mv_0^2}{12qR}$ 。

(2)粒子从 M 点运动到 N 点的轨迹如图 5 甲所示,根据几何关系可得,每段轨迹圆弧所对圆心角均为 $\frac{\pi}{3}$,根据粒子受到的洛伦兹力提供向心力得 $qv_0B = m \frac{v_0^2}{2R}$,解得 $B = \frac{mv_0}{2qR}$ 。粒子从 M 点运动到 N 点所用的时间 $t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{\pi m}{qB}$,解得 $t =$

$\frac{2\pi R}{v_0}$ 。(3)此次粒子的运动轨迹与小圆相切,如图 5 乙所示,根据几何关系得 $(r+R)^2 = r^2 + (3R)^2$,解得 $r = 4R$ 。根据粒子受到的洛伦兹力提供向心力得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$,解得 $v = 2v_0$,根据动能定理得 $qEy' = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $y' = 8\sqrt{3}R$ 。因此此次粒子释放时的位置坐标为 $(3R, -8\sqrt{3}R)$ 。

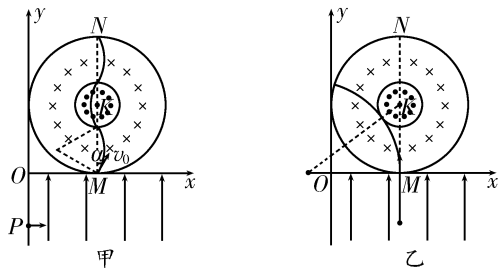


图 5

(责任编辑 张 巧)